

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв  
(повна назва кафедри)

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко  
“    ”    \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

**Бакалаврська робота**  
**освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»**

з спеціальності : **6.050802 – Електронні пристрої та системи**  
Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**  
на тему: Портативний цифровий осцилограф

**Виконав:**  
студент IV курсу, гр. ДЕ-51

\_\_\_\_\_ Андрієнко Ольга Володимирівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник доц. кафедри ЕПП к.т.н. Терлецький О.В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультанти:**

Нормоконтроль доц. кафедри ЕПП к.т.н. Чадюк В.О.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет                      Е л е к т р о н і к и  
Кафедра                      Електронні прилади та пристрої  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр  
Спеціальність: 6.050802 – Електронні пристрої та системи  
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Л.Д.Писаренко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на бакалаврську роботу студенту

**Андрієнко Ользі Володимирівні**

**1. Тема проекту «Портативний цифровий осцилограф»**

і керівник проекту **Терлецький О.В., доц. кафедри ЕПП**

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р., № 1405-с

**2. Строк подання студентом проекту «10» червня 2019 р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** Пристрій призначений для вимірювання, відображення та запису параметрів електричного сигналу. Має забезпечувати функцію відображення та масштабування зображення на екрані, а також мати захист від підвищення напруги на вході. Кліматичне виконання УХЛ 3.1 по ГОСТ 15150-69

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Анотація; вступ; огляд науковотехнічної літератури; розробка схемотехнічного рішення (структурної схеми); розробка схем функціональної; електричної принципової; вибір елементної бази та друкованої плати, розміщення компонентів на друкованій платі; розробка конструкторської документації на пристрій; електричний розрахунок друкованої плати; розрахунок надійності; розрахунок віброміцності; тепловий розрахунок схеми; складальне креслення, друкована плата; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

**5. Перелік графічного матеріалу:** Функціональна схема; електрична принципова схема; друкована плата; складальне креслення;

**6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапу розробки	Терміни виконання	Результат
1	Розробка технічного Завдання	16.11.18	Технічне завдання
2	Розробка структурної схеми	30.11.18	Схема структурна приладу
3	Розробка ескізної схеми електричної принципової приладу	16.12.18	Принципова схема приладу
4	Виконання креслення схеми електричної принципової	16.01.19	Креслення схеми електричної принципової
5	Виконання складального креслення	16.02.19	Складальне креслення друкованої плати
6	Виконання креслення друкованої плати	16.03.19	Креслення друкованої плати
7	Розробка програмного забезпечення	30.03.19	Програмне забезпечення
8	Виготовлення прототипу	16.04.19	Діючий прототип
9	Випробування експериментального зразка	30.04.19	Протокол випробування
10	Розробка пояснювальної записки	16.05.19	Пояснювальна записка

Студент гр. ДЕ-51 \_\_\_\_\_ Андрієнко О.В.

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Терлецький О.В.

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проекту**

**на тему: «Портативний цифровий осцилограф»**

Київ – 2019

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота на тему «Портативний цифровий осцилограф» містить основну частину на 77 сторінках, 19 ілюстрацій та додатки.

В бакалаврській роботі виконано розробку портативного цифрового осцилографа. Обраний тип осцилографа — цифровий запам'ятовуючий осцилограф. Вимірювання електричного сигналу відбувається за допомогою аналого-цифрового перетворювача, що підключений до мікроконтролера. Додатковими функціями розробленого пристрою є можливість вибору подільника вхідної напруги, масштабування сигналу, захист від збільшення напруги на вході. Результати вимірювань зберігаються у вбудованій пам'яті мікроконтролера, обробляються та виводяться на екран за допомогою відповідної прошивки.

Також виконано розробку комплексу конструкторської документації, що забезпечує необхідну інформацію для виготовлення пристрою та створено відповідний прототип, який дозволяє наглядно побачити основні функції.

Ключові слова: портативний, осцилограф, сигнал, мікроконтролер.

## SUMMARY

Bachelor's paper on "Portable Digital Oscilloscope" contains the main part on 77 pages, 19 illustrations and appendixes.

In the baccalaureate work the portable digital oscilloscope was developed. The selected type of oscilloscope is a digital memory oscilloscope. Measurement of the electrical signal is carried out using an analog-to-digital converter connected to the microcontroller. Additional features of the developed device are the ability to select the input voltage divider, signal scaling, protection against increase in input voltage. The measurement results are stored in the internal memory of the microcontroller, processed and displayed on the screen with the appropriate firmware.

Also, the development of a set of design documentation, which provides the necessary information for the manufacture of the device, and created a corresponding prototype that allows you to visually see the main functions.

Keywords: portable, oscilloscope, signal, microcontroller.

№ з/п	Форм-	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4				Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	БР.171.051.001 ПЗ			Пояснювальна записка	100	
3	A4	БР.171.051.001 Е2			Схема електрична функціональна	1	
4	A1	БР.171.051.001 Е3			Схема електрична принципова	1	
5	A1	БР.171.051.001 СК			Складальне креслення	1	
6	A1	БР.171.051.001			Плата друкована	1	
7	A4	БР.171.051.001 СП			Специфікація	3	
8	A4	БР.171.051.001 ПЕ			Перелік елементів	2	

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1. Розробка пристрою.....	5
1.1. Огляд науково-технічної літератури з осцилографії.....	5
1.1.1. Класифікація осцилографів.....	5
1.1.2. Цифровий запам'ятовуючий осцилограф.....	8
1.1.3. Портативний осцилограф.....	9
1.1.4. Недоліки та переваги існуючих технологій осцилографування.....	11
1.2. Передумови для прийняття рішення з реалізації дипломного проекту...12	
1.3. Висновки.....	13
2. Розробка схеми приладу.....	14
2.1.1 Розробка структурної схеми приладу .....	15
2.1.2. Розробка функціональної схеми приладу.....	20
2.1.3. Розробка схеми електричної-принципової приладу.....	23
2.2.1. Вибір й обґрунтування елементної бази.....	33
2.2.2. Вибір мікроконтролера.....	33
2.2.3 Вибір АЦП.....	36
2.2.4 Вибір інших мікросхем.....	37
2.2.5. Вибір типу резисторів.....	38
2.2.6 Вибір типу конденсаторів.....	38
2.2.7 Вибір екрану.....	39
2.2.8 Вибір діодів та світлодіодів.....	40
2.2.9. Вибір кнопок .....	40
2.2.10 Вибір кварцевого резонатору.....	40
2.2.11. Вибір і обґрунтування типу матеріалу, методу виготовлення і класу точності	
ДП.....	40
2.2.12 Висновки.....	44
3. Розрахунок конструкції виробу.....	44
3.1. Розміщення конструктивних елементів на платі.....	44

					БР.171.051.001 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Андрієнко О.В.			Портативний цифровий осцилограф Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Акрюшів		
Перевір.		Терлецький О.В.									8	10800	
Реценз.									НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ51				
Н. Контр.		Чадюк В.О.											
Затверд.		Писаренко Л.Д.											



3.2. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу.....	48
3.2.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі.....	48
3.2.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги.....	50
3.2.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору.....	51
3.2.4. Визначення діаметру контактного майданчику.....	51
3.2.5. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.....	53
3.2.6. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників).....	54
3.3. Електричний розрахунок друкованої плати.....	55
3.3.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.....	55
3.3.2. Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати.....	55
3.3.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину.....	56
3.3.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.....	57
3.4. Розрахунок надійності.....	57
3.4.1. Визначення основних параметрів надійності.....	57
3.4.2. Розрахунок середнього часу ремонту.....	63
3.5. Розрахунок конструкції на дію удару.....	65
3.6. Тепловий розрахунок схеми.....	67
3.7. Висновки.....	69
4. Розробка та тестування прототипу.....	72
4.1 Створення прототипу.....	72
4.2 Розробка програмного забезпечення для прототипу.....	74
4.3 Тестування прототипу.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	80
ДОДАТОК А.....	84

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

МК–Мікроконтролер

MIPS – одиниця виміру швидкодії (Million Instructions Per Second)

ДП –Друкована плата

ОДП– Одношарова друкована плата

ДДП–Двошарова друкована плата БДП–Багатошарова друкована плата

SPI – послідовний периферійний інтерфейс (Serial Peripheral Interface)

UART – універсальний асинхронний приймач/передавач (universal asynchronous receiver/transmitter)

I2C – послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем

## ВСТУП

Сучасна тенденція розвитку світової електроніки передбачає мінімізацію розмірів елементної бази та таких вимірювальних приладів, як осцилограф. Осцилограф – найпоширеніший вимірювальний прилад, який використовується в усіх галузях науки і техніки, саме тому розробка нових рішень в цій галузі є на сьогодні актуальною. Основне завдання осцилографа – побудова часової залежності напруги сигналу  $U(t)$  – осцилограми. Осцилограф, дозволяє проводити візуальний контроль таких характеристик електричних сигналів, як форма, період, амплітуда, полярність або тривалість та інші. Сучасний прогрес в електроніці обумовлює широке впровадження цифрових методів реєстрації та обробки електричних сигналів [1]. Як наслідок – з'явився клас цифрових осцилографів. Але найбільшу цікавість викликає питання створення портативних осцилографів як відповідь на загальний запит мініатюризації електронної апаратури. За роки свого розвитку осцилографи пройшли шлях від великих конструкцій аналоговий пристроїв, які використовували електровакуумні лампи та небезпечну напругу, до сьогоднішніх компактних цифрових осцилографів.

Ринок осцилографів доволі великий, якщо раніше осцилографи були лише в лабораторіях та дослідницьких центрах, зараз майже кожна майстерня та навіть аматори, що займаються ремонтом чи розробкою електронної апаратури мають у себе цей прилад. [3-24]

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. Розробка пристрою

### 1.1. Огляд науково-технічної літератури з осцилографії

Як показують дослідження джерел інформації – [1-23] головні сфери використання осцилографів - це розробка, ремонт та налаштування електронних пристроїв в галузях радіо техніки, радіоелектроніки та споріднених галузях:

- автоматизовані виробничих лінії;
- радіозв'язок і радіопередавачі;
- системи безпеки;
- збір та передача телеметричних даних, в тому числі в системах нагляду та спостереження;
- первинні і вторинні джерела живлення;
- електрообладнання автотранспорту.
- автоматизовані виробничих лінії;
- радіозв'язок і радіопередавачі;
- системи безпеки;
- збір та передача телеметричних даних, в тому числі в системах нагляду та спостереження;

Дослідження джерел технічної інформації не виявило широкого надлишку пропозицій по портативним осцилографам, тим паче таких, які могли би бути розташовані безпосередньо в електронному щупі інженера. Прилад з малими габаритами може застосовуватися у сферах ремонту автоматизованих виробничих ліній, джерел живлення, дрібної цифрової апаратури, швидкої перевірки працездатності основних вузлів друкованої плати в цифровій та аналоговій електроніці. На сьогодні такий прилад має шанс стати корисним і навіть необхідним у використанні як приватними особам так і сервісним центрам.

Тому означена тема розробки є актуальною і перспективною з точки зору конкурентної здатності.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою та завданням є розробка портативного цифрового тестера-осцилографа, який би забезпечував можливість візуальної індикації та швидкого дослідження таких параметрів як залежність напруги від часу  $U(t)$ , надавав діаграму графіку в стислому робочому просторі, можливість масштабування отриманих даних, можливість використовувати прилад в польових умовах.

Виходячи з висунутих вище вимог та аналізу економічних та конструктивних показників було встановлено: що оптимальне вирішення конструкції осцилографа може бути розроблене на принципі аналого-цифрової обробки вхідного сигналу. Тоді цей підхід може бути використаний для створення цілого сімейства портативних осцилографів, що є другою ознакою актуальності наданої роботи.

Слід також відзначити, що розробка вітчизняних цифрових осцилографів є принциповим питанням для розвитку електроніки в країні, адже такий прилад має дуже широку сферу застосування.

Завданням бакалаврської роботи є розробка портативного цифрового осцилографа з мінімальними габаритами та забезпеченням таких функціональних можливостей:

- захист від високої напруги на вході
- функцію відображення сигналу у заданому діапазоні;
- точність відображення у заданому діапазоні;
- прийнятний час індикації приладу;
- відображення результатів на екрані;
- масштабування зображення;
- живлення від акумуляторної батареї;

### 1.1.1. Класифікація осцилографів

- За способом обробки вхідного сигналу осцилографи поділяють на аналогові та цифрові.
- За кількістю променів поділяються на одно - двопроменеві тощо.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

- За кількістю каналів осцилографи поділяються на 1-канальні та N-канальні. Осцилограф, що має N сигнальних входів, може одночасно відображати на екрані N графіків.
- Цифрові осцилографи також поділяються на запам'ятовуючі, люмінофорні та стробоскопічні[2].
- За технологією осцилографування осцилографи поділяються на аналогові та цифрові
- Аналогові осцилографи – беруть свій початок позитиву від шлейфових, що реєстрували сигнал на паперовій стрічці. Після створення аналогового осцилографа на електронно-променевої трубі його спочатку називали осцилоскопом. Навіть зараз цей тип приладів є найбільш поширеним та дешевим. Складовими елементами такого осцилографа є: електронно-променева трубка (ЕПТ), лінія затримки, вхідний подільник, підсилювач вертикального відхилення, схема синхронізації та горизонтального відхилення, джерело живлення.
- Цифрові запам'ятовуючі осцилографи – у порівнянні з аналоговими такі прилади мають ширші можливості, але й більш високу вартість. Загалом цифровий осцилограф складається з вхідного подільника, нормалізуючого підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, блока пам'яті пристрою керування та пристрою відображення.
- Цифрові люмінофорні осцилографи – ці осцилографи засновані на технології, яка у цифровій формі імітує зміну інтенсивності зображення, що властиве аналоговим осцилографам. Таким чином дослідники можуть бачити на екрані модульовані сигнали та всі їх тонкі деталі, забезпечуючи при цьому їх зберігання, вимірювання та аналіз. Цей тип приладів поєднує у собі найкращі якості аналогових та цифрових осцилографів.
- Цифрові стробоскопічні осцилографи [1] – в цьому класі приладів використовується принцип послідовного стробування миттєвих значень сигналу для перетворення (стискання) його спектру, при кожному повторенні сигналу визначається миттєве значення сигналу в одній точці. До мо-

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

менту приходу іншого сигналу точка відбору переміщується по сигналу і так до тих пір поки він весь не буде стробований. Стробоскопічні осцилографи найбільш широкосмугові (до 100 ГГц) та дозволяють досліджувати періодичні сигнали з мінімальною тривалістю. Віртуальні осцилографи — осцилографи цього класу можуть бути як зовнішніми приладами з USB або паралельним портом вводу-виводу даних, так і внутрішнім приладом у комп'ютері на основі PCI або ISA плат.

### 1.1.2. Цифровий запам'ятовуючий осцилограф

Основний принцип роботи цифрового осцилографа базується на перетворенні аналогового сигналу у цифровий. Сигнал, що поступає на вхід осцилографа після нормалізації перетворюється у цифрову форму та записується у пам'ять. Швидкість запису визначається пристроєм керування та її верхня межа обмежена можливостями роботи АЦП, а нижня межа теоретично не обмежена, на відміну від аналогових осцилографів, що дозволяє досліджувати сигнали з малою частотою [1].

Оцифрування сигналу дає змогу уникнути відображення сигналу у реальному часі, таким чином підвищується стійкість зображення. Цифровий сигнал можна зберігати та дуже легко масштабувати. Завдяки використанню дисплею на рідких кристала та керуючому пристрою, на екран можна виводити будь-яку інформацію та керувати приладом за допомогою меню. Деякі прилади мають кольоровий дисплей, що надає змогу гарно розрізняти сигнали з різних каналів. Сучасні цифрові осцилографи мають високу чутливість та роздільну здатність, широкий діапазон розгортки, розвинену логіку керування, широкий діапазон розгортки. Також є можливість збереження та обробки даних самим пристроєм наприклад використовуючи швидке перетворення Фур'є та інше.

Слід також відзначити, що розробка вітчизняних цифрових осцилографів є принциповим питанням для розвитку електроніки в країні, адже такий прилад має дуже широку сферу застосування.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



### 1.1.3. Портативний осцилограф

Оскільки основною задачею проекту є створення портативного цифрового осцилографа тому будемо розглядати саме цей клас пристроїв.

Всі виявлені зразки портативних осцилографів засновані на цифрових методах обробки даних.

Структура таких осцилографів містить

- Блок захисту осцилографа від перевантаження за вхідним сигналом
- Блок цифрової пам'яті відліків вхідного сигналу
- Блок попередньої обробки спектру сигналу
- Блок аналого-цифрового перетворення
- Блок індикації
- Елементи керування
- Блок живлення.

Головні сфери використання портативних осцилографів - це розробка, ремонт та налаштування електронних пристроїв в галузях:

- автоматизовані виробничих лінії;
- радіозв'язок і радіопередавачі;
- системи безпеки;
- збір та передача телеметричних даних, в тому числі в системах нагляду та спостереження;
- первинні і вторинні джерела живлення;
- електрообладнання автотранспорту.

Особливість використання портативного осцилографу полягає в здобутті візуального формату процесу, що розвивається в конкретному вузлі схеми електричної за значних обмежень габаритів робочого простору.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Аналіз сфери попиту

Попит на мінімізацію радіоелектронних пристроїв, як промислових, так і побутових, проявив потребу в портативних та навіть мініатюрних пристроях вимірювання, експрес-аналізу, контролю та діагностиці. Істотно виникла і потреба і можливість створити портативний цифровий осцилограф. Такі осцилографи поступово набирають популярності у сфері, де основними факторами є мінімальні розміри пристрою, помірні вимоги до точності та швидкодії та можливість визначення необхідних параметрів сигналів, що досліджуються безпосередньо на робочому місці виробництва або в домашніх умовах. Тобто, цей тип осцилографів використовуються за стислих та некомфортних умов виконання роботи а також для роботи в польових умовах, коли дуже важлива мобільність приладу. З'явилась потреба в осцилографах-тестерах, що мають настільки малі габарити, що можуть бути вмонтовані в електронний щуп інженера. Це не означає, що для дослідження та запису параметрів електричного сигналу стаціонарні аналогові та цифрові осцилографи вже не потрібні. Лише знайдено можливість за допомогою цифрових АЦП та мікроконтролерів та завдяки мінімізації деталей, які потрібні для створення, створити портативний цифровий осцилограф.

Дослідження джерел технічної інформації не виявило широкого вибору портативних осцилографів із зазначеними вище технічними можливостями, тим паче таких, які могли би бути розташовані безпосередньо в електронному щупі інженера. Прилад з малими габаритами може застосовуватися у сферах ремонту автоматизованих виробничих ліній, джерел живлення, дрібної цифрової апаратури, швидкої перевірки працездатності основних вузлів друкованої плати в цифровій та аналоговій електроніці. На сьогодні такий прилад має шанс стати корисним і навіть необхідним у використанні як приватними особам так і сервісним центрам.

Таким чином, головні сфери використання портативних осцилографів - це розробка, ремонт та налаштування електронних пристроїв в за-

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		180

значених вище галузях, але в стислих умовах робочого місця.

Така особливість портативного осцилографічного пристрою потребувала зниження вимог до основних параметрів: точності і чутливості, але перевищила відомі пропозиції у зменшенні габаритів.

#### **1.1.4. Недоліки та переваги існуючих технологій осцилографування**

Аналогові осцилографи мають ті переваги, що відображають реально плинні процеси: що відбувається в досліджуваному об'єкті, те саме бачимо і на екрані. Аналогові запам'ятовуючі осцилографи на люмінофорі записують та зберігають одноразові реалізації процесів опромунення, удару, вибуху і т.і.

Недоліки таких осцилографів:

- a. Аналогові шлейфові осцилографи відворюють лише низькочастотні сигнали, бо реєструють їх чорнилом на ленті
- b. Аналогові осцилографи на ЕПТ мають принципово великі розміри через габарити електронно-променевої трубки: чим довша трубка – тим менші спотворення. Відповідно до технології відсутня можливість цифрової документації: лише світлини.
- c. Цифрові осцилографи мають переваги в долученності до світових цифрових тенденцій. Базуються на цифрових методах обробки даних. Швидкість такої обробки сягає гігагерц: зараз можна оцифровувати коливання магнетрону побутової надвисокочастотної печі. Цифрові технології дозволяють документувати дані досліджень в комфортному цифровому форматі та зберігати дані на будь-яких носіях цифрової інформації.

Недоліки: потребують процесу оцифрування даних. Вартість такого процесу росте в залежності від розрядності та швидкості в геометричній прогресії. Згадана вище технологія оцифрування в області гігагерц коштує з огляду вартості кіт-плати 2500 доларів США.

- d. Портативні осцилографи засновані на цифрових технологіях, що дозволяють мінімізувати габарити пристрою.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Недоліки полягають в тому, що зменшення габаритів та здешевлення конструкції вимагає послаблення технічних вимог щодо максимальної частоти відтворених сигналів та розрядності АЦП.

## **1.2. Передумови для прийняття рішення з реалізації дипломного проекту**

Попит на мінімізацію радіоелектронних пристроїв, як промислових, так і побутових, проявив потребу в портативних та навіть мініатюрних пристроях вимірювання, експрес-аналізу, контролю та діагностики. Істотно виникла і потреба і можливість створити портативний цифровий осцилограф. Такі осцилографи поступово набирають популярності у сфері, де основними факторами є мінімальні розміри пристрою, помірні вимоги до точності та швидкодії та можливість визначення необхідних параметрів сигналів, що досліджуються безпосередньо на робочому місці виробництва або в домашніх умовах. Тобто, цей тип осцилографів використовуються за стислих та некомфортних умов виконання роботи а також для роботи в польових умовах, коли дуже важлива мобільність приладу. З'явилась потреба в осцилографах-тестерах, що мають настільки малі габарити, що можуть бути вмонтовані в електронний щуп інженера. Це не означає, що для дослідження та запису параметрів електричного сигналу стаціонарні аналогові та цифрові осцилографи вже не потрібні. Лише знайдено можливість за допомогою цифрових АЦП та мікроконтролерів та завдяки мінімізації деталей, які потрібні для створення, створити портативний цифровий осцилограф. Особливість використання портативного осцилографа полягає в здобутті візуального формату процесу, що розвивається в конкретному вузлі схеми електричної за значних обмежень габаритів робочого простору. Ідеальне вирішення – це вмонтувати осцилограф в щуп. Тоді можливо спостерігати процес в контрольній точці за будь-яких робочих обставин.

Така особливість портативного осцилографічного пристрою пот-

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		202

ребує зниження вимог до основних параметрів: точності і чутливості, але перевищує відомі пропозиції у зменшенні габаритів.

Дослідження джерел не виявило широкої пропозиції портативних осцилографів, тим паче таких, які могли би бути розташовані безпосередньо в електронному щупі інженера. Прилад з малими габаритами може застосовуватися у сферах ремонту автоматизованих виробничих ліній, джерел живлення, дрібної цифрової апаратури, швидкої перевірки працездатності основних вузлів друкованої плати в цифровій та аналоговій електроніці. На сьогодні такий прилад має шанс стати корисним і навіть необхідним у використанні як приватними особам так і сервісним центрам.

### 1.3. Висновки

- Аналіз ринку не виявив широкої пропозиції портативних осцилографів, тим паче таких, які могли би бути розташовані безпосередньо в електронному щупі інженера. Означена тема розробки є актуальною і перспективною з точки зору конкурентної здатності.
- Головні сфери використання портативних осцилографів - це розробка, ремонт та налаштування електронних пристроїв в зазначених вище галузях, але в стислих умовах робочого місця.
- Особливість портативного осцилографічного пристрою потребує зниження вимог до основних параметрів: точності і чутливості, але перевищує відомі пропозиції у зменшенні габаритів.
- Виходячи з висунутих вище вимог та аналізу економічних та конструктивних показників було встановлено: що оптимальне вирішення конструкції осцилографу може бути розроблене на принципі аналого-цифрової обробки вхідного сигналу. Тоді цей підхід може бути використаний для створення цілого сімейства портативних осцилографів, що є другою ознакою актуальності наданої роботи.
- Завданням бакалаврської роботи є розробка портативного цифрового осцилографа з мінімальними габаритами та забезпеченням та-

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		213

ких функціональних можливостей:

- захист від високої напруги на вході
- функцію відображення сигналу у заданому діапазоні;
- точність відображення у заданому діапазоні;
- прийнятний час індикації приладу;
- відображення результатів на екрані;
- масштабування зображення;
- живлення від акумуляторної батареї;

## 2. Розробка схеми приладу

Проведене дослідження дозволило відсіяти багато варіантів реалізації задуму та зупинитись на варіанті побудови портативного осцилографа на основі модуля Arduino [33], рис.1. Модуль приваблює тим, що містить мікроконтролер серії ATmega 328P та дозволяє підключити рідинно-кристалічний дисплей у модульному виконанні. Більш того, він містить 6-канальний, або 10-канальний АЦП в залежності від типу корпусу. Але дослідження [11] показали, що використання внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП) є недоцільним, бо забезпечує частоту дискретизації лише 8,9 кГц. Щоправда, при роботі за перериваннями можлива частота 77 кГц. Але тоді неможливо оперувати з масштабуванням вхідного сигналу і рівень вхідного сигналу обмежений діапазоном 1 В.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						224
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

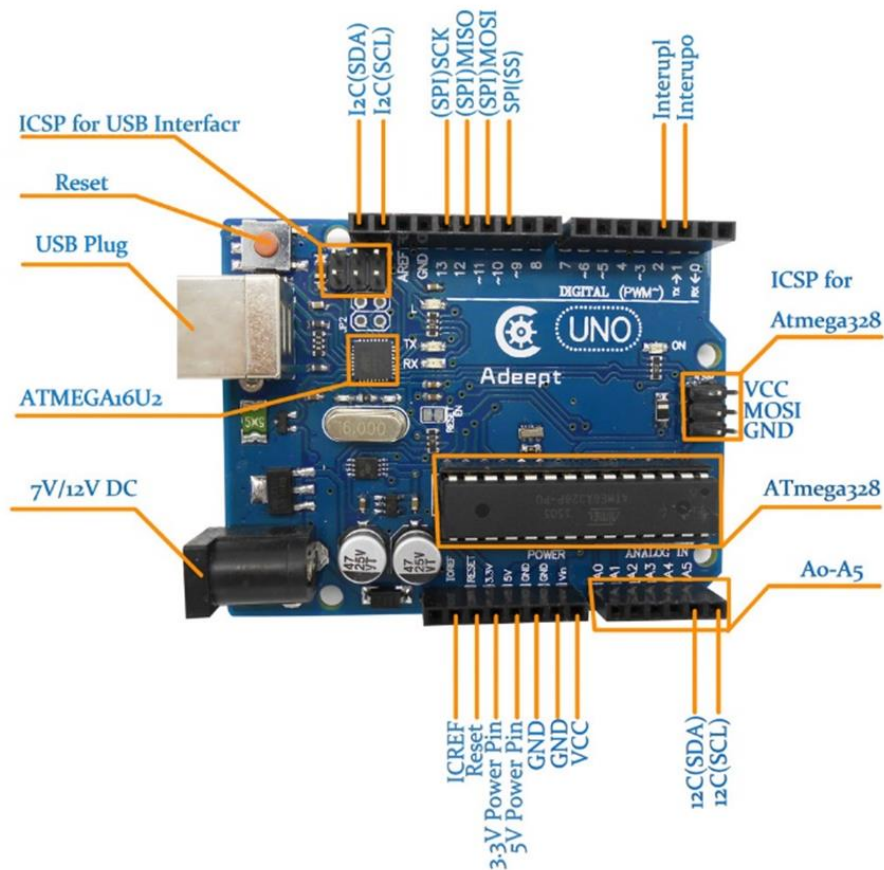


Рис.1. Модуль Arduino

### 2.1.1. Розробка структурної схеми приладу

Таким чином, при використанні мікропроцесорного модуля Arduino виникла задача розширення вхідного динамічного діапазону та частоти дискретизації вхідного сигналу. Ця задача вирішується застосуванням зовнішнього АЦП до вхідного блоку та керованого масштабування вхідного сигналу.

Відповідь на розв'язання цього та інших супутніх питань відображає структурна схема портативного осцилографа, що наведена на рис.2.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		235

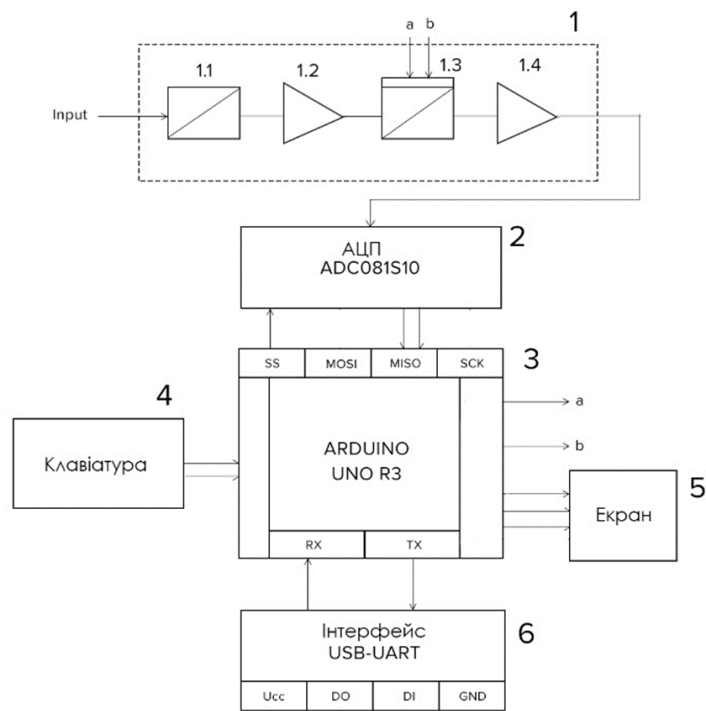


Рис.2. Структурна схема портативного цифрового тестер – осцилографа.  
 1 – блок попередньої обробки сигналу (1.1 – подільник напруги, 1.2 – бу-  
 ферний підсилювач, 1.3 – керований подільник, 1.4 – підсилювач норму-  
 вання сигналу), 2 – АЦП, 3 – блок керування, 4 – клавіатура, 5 –  
 екран, 6 – перетворювач USB-UART.

Ця структурна схема не є повним відображенням блоків, що взаємоді-  
 ють між собою, бо модуль Arduino не забезпечує висвітлення реальних  
 зв'язків між блоками, але надає можливість програмувати роботу внутріш-  
 ніх складових. Для розробки пристрою з урахуванням викладених вище  
 досліджень прийняті наступні параметри:

- розрядність 8 біт;
- частота дискретизації 1 МГц;
- діапазон вимірювання напруги 0 ... +50В;
- напруга живлення 7...12В;
- похибка вимірювання  $\pm 5\%$ ;
- максимальна частота вимірювання 200 кГц;
- вхідний опір не менше ніж 100 кОм;



- робота схеми в температурному діапазоні від -10 до +40°C.

Отже, сигнал, що поступає на вхід осцилографа, проходить попередню обробку блоком 1: масштаб сигналу узгоджується з розрядною сіткою АЦП. Для цього великий за розмахом напруги сигнал послабляється скоригованим за частотою подільником напруги, а слабкий сигнал посилюється. Таким чином відбувається нормування вхідного сигналу по динамічному діапазону АЦП.

Подільник напруги 1.1 зменшує у 10 разів розмах вхідного сигналу, наближуючи його до вхідного діапазону АЦП.

Далі сигнал через буферний підсилювач 1.2 з одиничним коефіцієнтом підсилення надходить на керований подільник напруги 1.3, що узгоджує межі вхідного сигналу з вхідним діапазоном АЦП з адаптацією до розмаху вхідного сигналу. Цей подільник керується за допомогою мікроконтролера через входи «а» та «б».

Підсилювач 1.4 виконує функцію підсилення сигналу у 10 разів та фільтрацію високих частот сигналу, аби забезпечити належні умови для аналого-цифрового перетворення. АЦП 2 виконує оцифрування сигналу та передачі його до керуючої плати (мікроконтролера).

Нормований за амплітудою вхідний сигнал надходить до АЦП 2 і перетворюється у цифрову форму. Цифрові відліки сигналу записуються в цифрову пам'ять. Швидкість запису визначається тактовою частотою АЦП. Цим же фактором обмежена і смуга частот вхідного сигналу. Нижня межа не обмежена, що дозволяє досліджувати сигнали з малою частотою, навіть рівні постійної напруги.

Блок керування 3 складається з мікроконтролера та інтерфейса користувача, який використовується для налаштування осцилографа при дослідженні параметрів вхідних сигналів. Мікроконтролер виконує функції: керування блоком попередньої обробки сигналу 1, обробки команд з клавіатури 4, запис сигналу, що досліджується, в оперативну пам'ять, а також

обробку та виведення записаної інформації екран 5 пристрою.

Панель керування забезпечує можливість користувачу налаштовувати осцилограф на вимірювання параметрів сигналу, що досліджується. Панель керування 4 включає в себе кнопки вибору режиму роботи осцилографа, перемикачі, що забезпечують калібрування амплітуди вхідного сигналу, вибір частоти дискретизації при запису осцилограми та при виведенні її на екран. Запис, зчитування та передачу цифрових даних в процесі дослідження вхідного сигналу виконує мікропроцесорна платформа Arduino 5. Екран використовується для відображення даних і керується мікроконтролером через інтерфейс модуля Arduino. Світлодіоди слугують індикацією передачі даних по відповідним інтерфейсам зв'язку МК. Перетворювач інтерфейсів 6 USB – UART надає змогу оновлення прошивки мікроконтролера та синхронізації за допомогою підключення його до ПК.

Оскільки апаратна обчислювальна платформа Arduino Uno базується на мікроконтролері ATmega 328P, в якому вже вбудований завантажувач, то зовнішній програматор не потрібен. Це полегшує процес розробки програмного забезпечення для приладу, а також дозволяє швидко змінювати модулі програмного забезпечення. Відповідно до умов зазначених вище, частота дискретизації АЦП повинна бути не менше 1 МГц, а розрядність 8 біт. АЦП повинен мати змогу передавати данні на мікроконтролер для можливості їх обробки та відображення. Це враховано таким чином, що мікросхема має змогу передавати данні за допомогою інтерфейсу SPI. Також було враховано: розміри корпусу мікросхеми (корпусу типу SMD надавався більший пріоритет під час вибору), наявність та доступність АЦП на ринку та ціну на відповідні моделі. Тому обрано АЦП фірми Texas Instruments ADC081S101 основні характеристики наведено у таблиці 1.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		268

Таблиця 1. Основні характеристики ADC081S10

Напруга живлення	+2,7В ... 5,25В
Діапазон робочих температур	−40°C ... +85°C
Вхідна напруга	0В ... +5.25В
Розрядність	8 біт
Частота дискретизації	1 МГц

При виборі екрану пристрою керувалися такими його властивостями та параметрами:

портативність, роздільна здатність, напруга живлення, малий струм споживання, габаритні розміри екрану, швидкість відображення (оновлення інформації), доступні вбудовані інтерфейси (UART, SPI, I2C), доступність на ринку, ціну та можливість швидкої заміни екрану у разі виходу його з ладу. Виходячи з вище сказаного, обрано готовий екранний модуль фірми Waveshare 1.3inch OLED екранний модуль з роздільною здатністю 128x64. Для лабораторного приладу така роздільна здатність замала, але для електронного щупа інженера – достатня. Зразки осцилограм наведені в [11]. Екранний модуль має вже вбудований контролер SH1106. Це полегшує розробку пристрою та надає змогу у разі певної несправності легко замінювати модуль. Екран керується за інтерфейсом SPI за доданим програмним забезпеченням модуля Arduino.

Основні критерії для вибору операційного підсилювача та аналогового мультиплексора: напруга живлення, смуга пропускання сигналу повинна бути не менше ніж в 10 разів більшою за частоту дискретизації АЦП, що в 5 разів перевищує мінімум за теоремою Котельникова і дає змогу спостерігати імпульсні сигнали без зазначних у теоремі Котельникова узгоджених фільтрів. Мультиплексор являє собою перемикач вхідного діапазону – на його основі побудовано керований подільник напруги. Відповідно до цих критеріїв обрано аналоговий мультиплексор фірми Analog Devices

ADG704, та операційний підсилювач фірми Analog Devices AD8033, що виконує функцію буфера (повторювача) для передачі сигналу до АЦП. Також обрано регулятор напруги, основні критерії вибору: вихідна напруга повинна складати 5В та вихідний струм, що споживають боки тестера-осцилографа. Виходячи з вище сказаного обрано стабілізатор напруги фірми Texas Instruments UA78M05. Arduino Uno представляє собою готову відкриту платформу, що поєднує у собі МК, перетворювач USB-UART та стабілізатор живлення, а це полегшує розробку, налаштування та оновлення пристрою. Для обробки вхідного сигналу, що поступає на АЦП, використовується частота дискретизації (тактова частота) з блоку управління, який регулює цю частоту в залежності від обраної тривалості розгортки і параметрів вхідного досліджуваного сигналу. Програмне забезпечення тестера-осцилографа. розроблено у середовищі програмування Arduino IDE на мові програмування C++. Програма наочно реалізовує відповідні функції пристрою а саме:

- можливість відображення сигналу;
- отримання та оброблення інформації зі входу АЦП;
- можливість керування пристроєм;
- прийнятний час індикації.

Відповідно до вищезазначених умов створено алгоритм програми, що описує основні функції програмного забезпечення та допомагає зрозуміти та розробити програмне забезпечення для пристрою.

### 2.1.2. Розробка функціональної схеми приладу

При розробці функціональної схеми портативного цифрового осцилографа будемо керуватися поставленим технічним завданням, а також критеріями специфіки побудови аналогічних пристроїв [2].

На основі проведеного аналізу науково-технічних джерел у попередньому підрозділі, функціональна схема цифрового осцилографа має відображати: сигнали керування з керуючої плати, відображення інформації на

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22/8

екрані, попередню обробку вхідного сигналу та аналого-цифрове перетворення.

Виходячи з цих умов та ТЗ розроблено функціональну схему, Рис. 3.

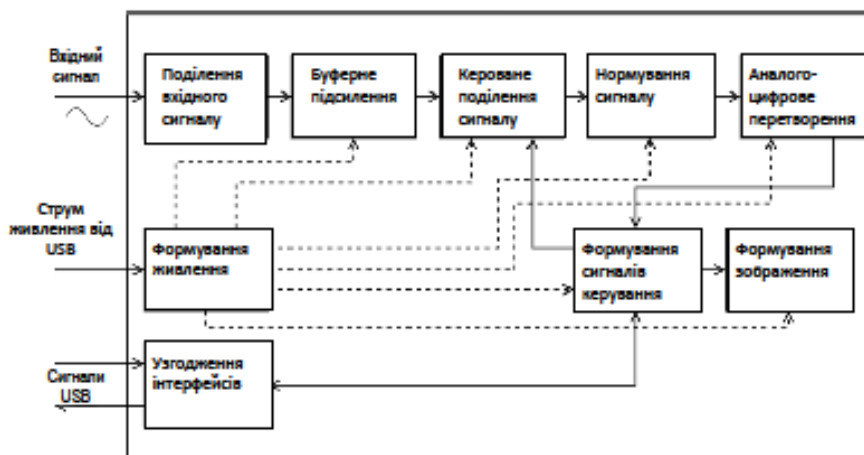


Рис. 3. Функціональна схема портативного осцилографа

**Вхідне поділення** напруги виконується на двох послідовно увімкнених резисторах у відношенні 1 до 10 для досягнення можливості вимірювати вхідний сигнал у межах заданих у ТЗ

**Буферне підсилення** виконується за допомоги операційного підсилювача, що увімкнений як повторювач напруги. Виконує функцію узгодження вихідного опору джерела сигналу з опором навантаження. Буферне підсилення напруги знижує вихідний опір джерела, в ідеалі виконуючи функцію генератора напруги з нульовим вихідним опором.

**Кероване поділення** виконується за допомогою аналогового мультиплексору та дільника напруги на резисторах з різним номіналом. Номінал резисторів вибирається відповідно, щоб отримати співвідношення 1:1, 1:2, 1:5, 1:10.

Виконує функцію вибору коефіцієнта ділення напруги вхідного сигналу, для розширення та зручності вибору діапазону вимірювання. Керується за допомогою мікроконтролера, вибор каналу дільника може бути автоматичним або користувачем.

**Нормалізоване підсилення** виконується за допомогою операційного підсилювача включеного по схемі неінвертуючого підсилювача напруги та ФНЧ. Виконує функцію підсилення сигналу у 10 разів та фільтрацію високих частот сигналу, для обмеження шумів, що вони спричиняють.

**Аналого-цифрове перетворення** виконує вибірку відліків вхідного сигналу та перетворення цих відліків у цифровий код – функцію оцифрування сигналу та передачі його до керуючої плати (мікроконтролера). Цей блок обирається та виконується згідно з ТЗ.

**Формування сигналів керування** виконується за допомогою мікроконтролера та клавіатури (кнопок). Мікроконтролер виконує функції: керування подільником, отримання, обробки та виведення даних з АЦП на екран, а також обробки команд з клавіатури. Клавіатура (кнопки) підключені до МК, за їх допомогою здійснюється керування (передача команд) МК.

**Перетворення інтерфейсів USB – UART** надає змогу оновлення прошивки мікроконтролера та синхронізації за допомогою підключення його до ПК.

**Формування зображення** виконує функцію індикації за допомогою екрану та світлодіодів. Екран використовується для відображення даних, керується за допомогою МК. Світлодіоди слугують індикацією передачі даних по відповідним інтерфейсам зв'язку МК.

**Формування живлення** виконує функцію забезпечення живленням усього приладу, виконується з стабілізатором рівня напруги при роботі від зовнішнього джерела (батарейки), та живлення від порта USB, вибір між цими джерелами реалізується за допомогою діода, включеного між ними.

### **2.1.3. Розробка схеми електричної-принципової**

Відповідно до схеми структурної Рис. 2 та ТЗ необхідно розробити та розрахувати осцилограф з наступними параметрами:

- розрядність 8 біт;
- частота дискретизації 1 МГц;

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- діапазон вимірювання напруги 0 ... +50В;
- напруга живлення 7...12В;
- похибка вимірювання  $\pm 5\%$ ;
- максимальна частота вимірювання 200 кГц;
- вхідний опір не менше ніж 100 кОм;
- робота схеми в температурному діапазоні від -10 до +40°C.

Пристрій має включати та забезпечувати функції відповідних блоки у схемі структурній (рис 1.2) та функції наведені у ТЗ, а саме:

- функцію відображення сигналу у заданому діапазонні;
- точність відображення у заданому діапазонні;
- прийнятний час індикації;
- відображення результатів на екранні;
- можливість керування.

Копію схеми електричної надано на рис. 4.

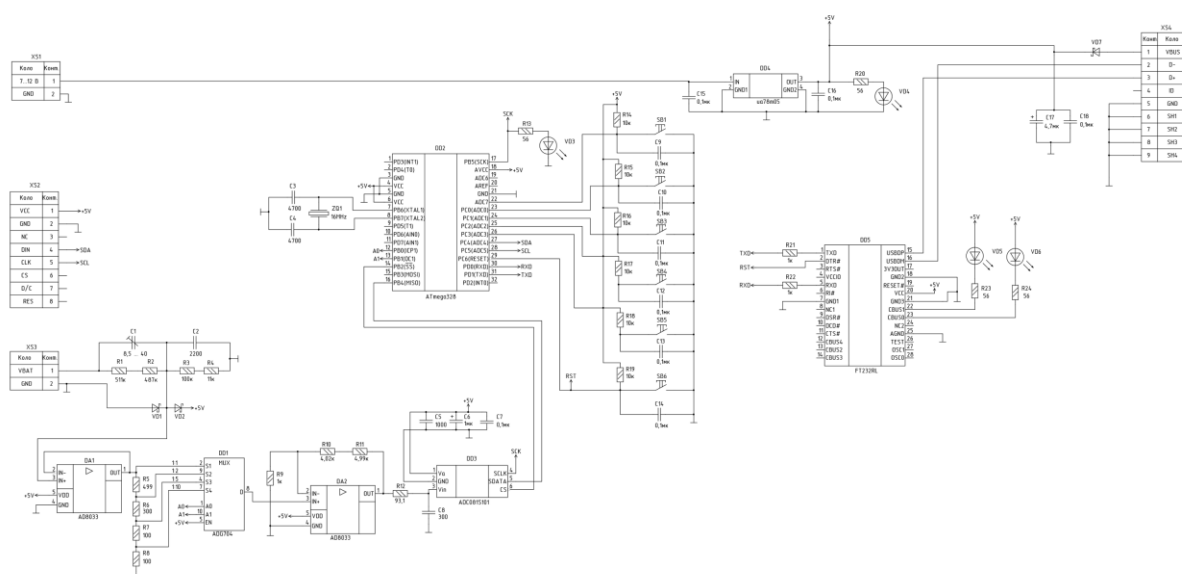


Рис. 4. Копія схеми електричної

Далі наведено принципово важливі розрахунки для створення схеми електричної – принципової. Розрахунок конденсаторів кварцового резонатору.

Ємність конденсаторів для кварцового резонатору розраховується за формулою 1.1 [4]:

$$CL = \frac{(C1 * C2)}{(C1 + C2)} + C \text{ stray} \quad (1.1)$$

де CL – ємність навантаження резонатору; C1, C2 – ємність конденсаторів; Cstray – ємність шунтування.

Для обраного нами резонатору Cstray = 7 пФ, CL = 16 пФ. Підставивши значення у формулу 1.1, отримаємо:

$$16 = (C1 * C2)/(C1 + C2) + 7$$

Оскільки C1 = C2 = C, тоді маємо:

$$C = 4,5 \text{ пФ}$$

Найближчим до цього стандартним значенням ємності є 4,7 пФ, отже, конденсатори для кварцового резонатору повинні мати саме таку ємність.

### ***Розрахунок схеми скидання МК***

Як видно з рисунку 1.3. [6] необхідний час для скидання МК дорівнює двом тактам. Оскільки частота з якою працює МК дорівнює: f<sub>МК</sub> = 16МГц

**Figure 15-4. External Reset During Operation**

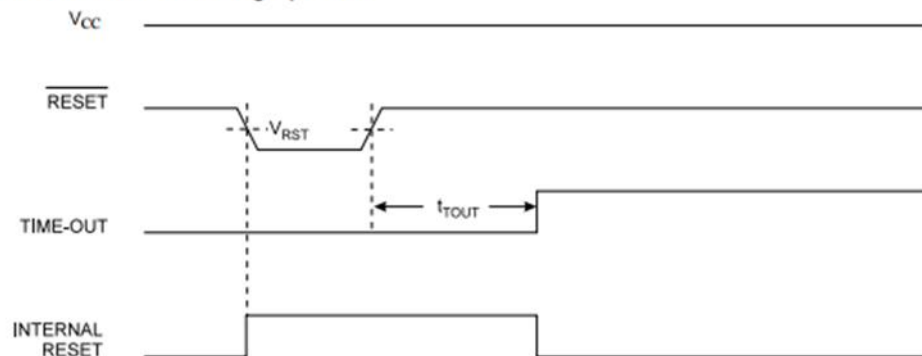


Рис 1.3. Час скидання мікроконтролера [5].

Мінімальний час низького рівня Reset повинен бути [5]:



$$\tau = t_{rst} = 2 \cdot \frac{1}{16 \cdot 10^6} = 0,125 \cdot 10^{-6} = 125 \cdot 10^{-9} \text{нс}$$

Схема скидання МК зображена на рисунку 1.4.

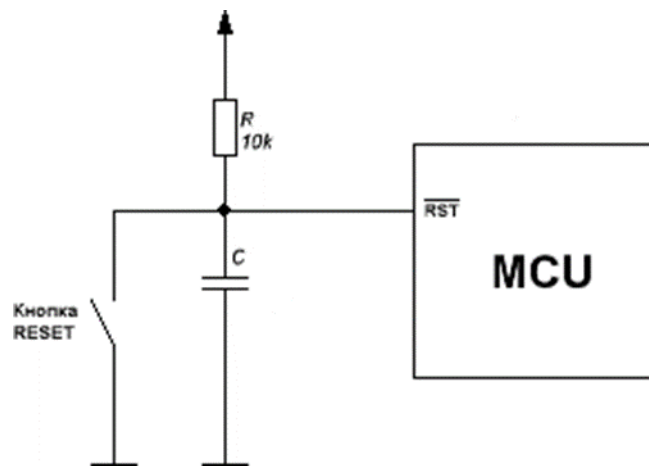


Рис. 1.4. Схема скидання мікроконтролера

Відповідно до вимог з даташиту [5] номінал резистору обраний  $R_{rst} = 10\text{кОм}$ , необхідно розрахувати номінал конденсатора за формулою 1.2:

$$\tau = 5RC \quad (1.2)$$

Тоді мінімально ємність конденсатора дорівнює:

$$C = \frac{\tau}{R} = 5 \cdot \frac{125 \cdot 10^{-9}}{10^4} = 62,5 \text{пФ}$$

Для більш стабільної роботи системи взято конденсатор більшої ємності  $0,1\text{мкФ}$ , це дозволить уникнути неправильної роботи МК.

### ***Розрахунок резисторів для світлодіодів***

Опір резисторів для світлодіодів розраховується за формулою 1.3:

$$R = \frac{(E - U_d)}{I_d}, \quad (1.3)$$

де  $E$  – напруга, яку видає джерело живлення та дорівнює  $5\text{В}$ ;  $U_d$  – напруга на світлодіоді;  $I_d$  – струм, який проходить через світлодіод.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для обраних світлодіодів  $U_d = 3,4\text{В}$ .  $I_d = 30\text{мА}$ , маємо:

$$R = \frac{(5 - 3,4)}{30 \cdot 10^{-3}} = 53,3 \text{ Ом}$$

Найближчим до цього стандартним значенням опору є 56 Ом, отже, резистори для світлодіодів повинні мати саме таке значення опору.

### ***Розрахунок частоти зрізу для драйвера АЦП***

В якості драйверу для АЦП зазвичай використовується операційний підсилювач з великим входним імпедансом (декілька МОм), малим вихідним та полосаю пропускання більше ніж частота дискретизації АЦП хоча б у 10 разів. Драйвер АЦП може працювати як буфер або підсилювач з певним коефіцієнтом підсилення, а також виконує функцію ФНЧ – це дозволяє знизити рівень шуму в системі. Типова схема включення драйвера зображена на рисунку 1.5. [6]

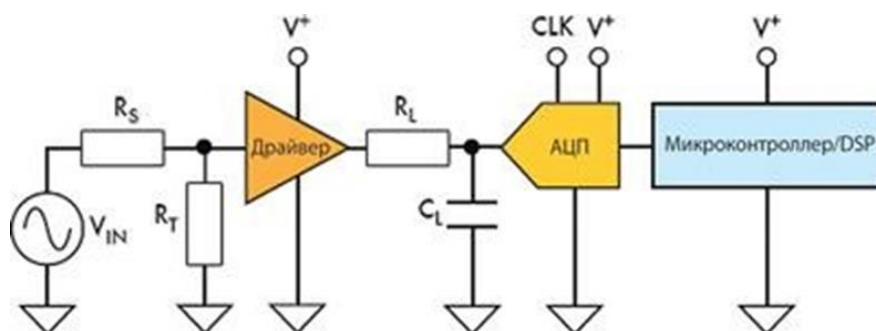


Рис. 1.5. Типова схема включення драйвера.[6]

У реального джерела входного сигналу неідеальний імпеданс. Тому для підключення на вхід АЦП потрібно використовувати буферний підсилювач з дуже низьким вихідним опором. Зовнішній  $RLCL$ – фільтр виконує

функцію згладжування, дозволяючи знизити ширину шумовий смуги частот драйвера АЦП і зменшити імпульсні перешкоди, що виникають при роботі схеми вибірки-зберігання АЦП. Для мінімізації спаду вхідного напруги зовнішня шунтуюча ємність  $CL$  повинна бути приблизно в 10 разів більше вхідної внутрішньої ємності АЦП [6].

При виборі фільтру необхідно враховувати те, що велика полоса пропускання зменшує час встановлення сигналу але збільшує шумову складову.

Мінімальна частота зрізу драйвера з урахуванням  $RLCL$  фільтру визначається за формулою 1.4 [7]:

$$f_{3db} = \frac{(\ln(2) \times (n + 2))}{(2\pi \times t_{ACQ})}, \quad (1.4)$$

Де  $n$  – розрядність АЦП,  $t_{ACQ}$  – мінімальний час для отримання вхідної напруги,

$$f_{3db} = \frac{(\ln(2) \times (8 + 2))}{(2\pi \times 350 \times 10^{-9})} = 5676365 \text{ Гц}$$

Виходячи з цих даних розраховуємо  $RLCL$  – фільтр низької частоти за формулою 1.5:

$$f_{cut} = \frac{1}{2\pi \times RL \times CL}, \quad (1.5)$$

де:  $f_{cut}$  – частота зрізу фільтра дорівнює  $f_{3db}$ ;  $RL$  – опір резистора, що необхідно розрахувати;  $CL$  – ємність шунтуючого конденсатора, зазвичай вибирається в 10 разів більшою за вхідну ємність АЦП [6]:

$$CL = C_{in} \times 10 = 30 \times 10 = 300 \text{ пФ}$$

$$f_{cut} = 5676365 \text{ Гц}$$

Виходячи з формули 1.5 маємо, що для побудови ФНЧ необхідно розрахувати

$RL$ , тоді:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$R_L = \frac{1}{2\pi \times f_{cut} \times CL} = \frac{1}{2\pi \times 5676365 \times 300 \times 10^{-12}} = 93.5 \text{ Ом.}$$

Найближчим до цього значенням резистора з ряду E96 є 93,1 Ом.

### ***Розрахунок подільника напруги***

Подільник напруги, що використовується на вході схеми та у керованому подільнику, має вигляд рисунок 1.6.

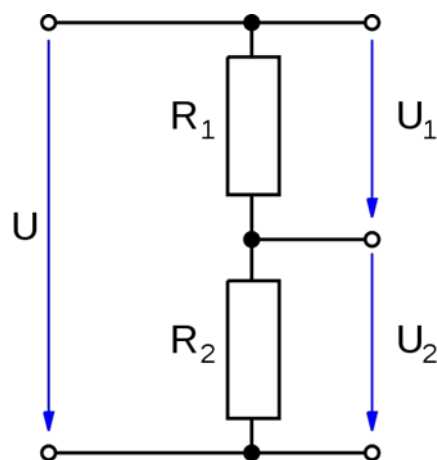


Рис. 1.6. Схема просто подільника напруги

Розраховується за формулою:

$$U_2 = IR_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6)$$

Вхідний подільник має забезпечувати ділення вхідної напруги у 10 разів, отже співвідношення між резисторами має бути:

$$R_1 = 9 \cdot R_2$$

Для досягнення умов ТЗ вхідний опір має становити неменше ніж 100кОм, резистор R1 обирається рівним 1МОм, а R2 111кОм відповідно, тоді отриманий вхідний опір буде дорівнювати:

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} = \frac{1000 + 111}{1000 \cdot 111} \cdot 103 \approx 100 \text{кОм}$$

Тобто це задовольняє умови ТЗ на вхідний опір осцилографа.  
Відповідним чином обрано резистори для керованого подільника напруги.

### ***Обґрунтування згладжуючи конденсаторів***

Згладжуючи конденсатори краще розміщувати біля мікросхем, зазвичай їх обирають за рекомендацією від виробника мікросхеми, а також з розрахунку на їх функцію, а саме згладження можливих шумів, що можуть виникати під час роботи схеми та впливати на роботу інтерфейсів, створювати мікрошум по фронту або зрізу сигналу.

### ***Розрахунок точності вимірювання***

Основні похибки, що можуть виникати під час вимірювання сигналу на АЦП, оцінку проводимо для АЦП оскільки, саме цей елемент відповідає за вимірювання сигналу та основна похибка виникає саме на ньому:

Диференціальна нелінійність DNL (differential non-linearity) - являє собою різницю між вимірюною і ідеальної шириною 1 кванта (1 LSB) АЦП.

Інтегральна не лінійність – дорівнює 0,5 LSB АЦП.

Помилка зміщення - являє собою відхилення моменту первинної зміни коду з (000H) на (001H) від ідеального значення, тобто 0.5LSB.

LSB (least significant bit) або МЗБ (молодший значущий біт) - це найменше значення напруги, яка може бути виміряна АЦП. Обчислюється за формулою (1.7):

$$1 \text{ LSB} = \frac{U_{\text{оп}}}{2^N} \quad (1.7)$$

де:

$U_{оп}$  – значення опорної напруги для нашого випадку 5В;  $N$  – розрядність АЦП, відповідно до ТЗ 8 біт.

Отже:

$$1 \text{ LSB} = \frac{5}{256} = 0,01953125 = 19,53 \text{ мВ}$$

Шум квантування (рисунок 1.7) – середньоквадратичне значення шуму. приблизно дорівнює вазі найменшого значущого розряду (LSB)  $\Delta$ , поділений на  $\sqrt{12}$ . При цьому передбачається, що амплітуда сигналу становить, принаймні, кілька молодших розрядів, так що вихід АЦП змінює свій стан майже при кожному відліку. Сигнал помилки квантування від вхідного лінійного пилообразного сигналу апроксимується сигналом пилкоподібної форми з максимальним розмахом  $\Delta$ , і його середньоквадратичне значення дорівнює  $\Delta / (\sqrt{12})$  [24].

Потужність шуму квантування дорівнює:

$$P_{ш.кв.} = \frac{\Delta^2}{12} \quad (1.8)$$

Математичне очікування:

$$M_e = \frac{1}{2} \times \Delta$$

де:  $\Delta$  – 1 LSB (молодший значущий біт).

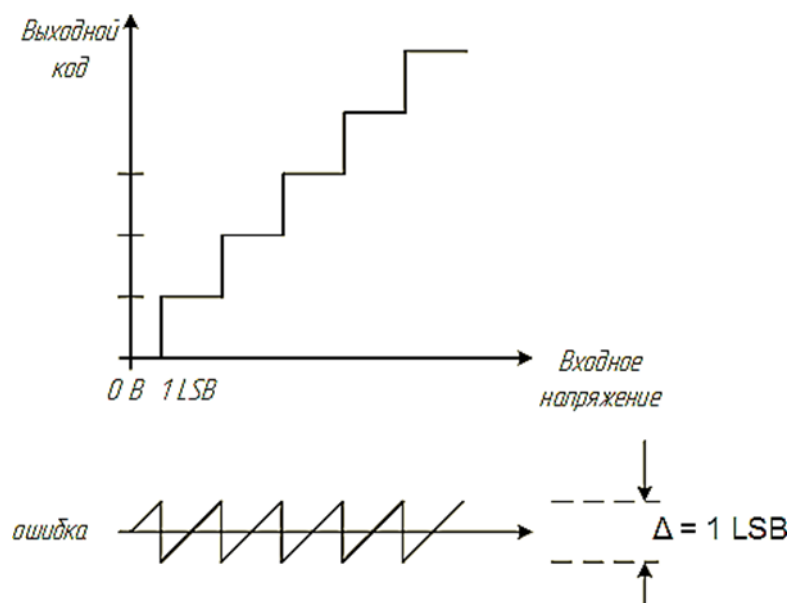


Рис. 1.7. Шум квантування [24].

Отже, похибка вимірювання АЦП буде складатися з інтегральної і диференціальної нелінійності, а також з помилки квантування та обчислюватися відповідно до «закону складання незалежних випадкових помилок» за формулою:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta X_n}{X_n}\right)^2,$$

де:

$X_1, \dots, X_n$  - номінальні значення незалежних випадкових величин;

$\Delta X_1, \dots, \Delta X_n$  - помилки випадкових величин;

$Y$  - номінальне значення кінцевої вимірюваної величини;

$\Delta Y$  - абсолютна помилка кінцевої вимірюваної величини.

Для нашого випадку маємо:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times \frac{\Delta}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times \frac{\Delta}{5}\right)^2 + \left(\frac{M_e}{5}\right)^2,$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 &= \left(\frac{0,01953}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times \frac{0,01953}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times \frac{0,01953}{5}\right)^2 + \left(\frac{0,01953}{5}\right)^2 = \\ &= (0,0039)^2 + 3 \times (0,00195)^2 = 0,1523 \times 10^{-3} + 0,0114 \times 10^{-3} = 0,1637 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = 0,01279$$

Тоді відносна похибка у відсотках складає:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = 0,01279 * 100 = 1,279\%$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta Y = 5 \times 0,01279 = 63,95 \text{ мВ}$$

Даний розрахунок показує, що точність вимірювання має бути в допустимих межах, що вказані у ТЗ, біль детальну оцінку треба проводити за допомогою дослідів на готовому пристрої.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		339

**Висновки:** в даному розділі було досліджено роботу та загальну схему осцилографів, а також розроблено схему структурну приладу (рисунок 1.2) та схему принципову.

Проведено розрахунки елементів та описання їх основних функції для схеми електричної принципової. Розроблена електрична-принципова та проведені розрахунки відповідають вимогам ТЗ, щодо живлення, максимальної напруги вхідного сигналу та точності вимірювання, також у схемі електричній-принциповій передбачено необхідний функціонал.

### 2.2.1 Вибір й обґрунтування елементної бази.

Вибір елементної бази відбувається з урахуванням викладених в ТЗ вимог.

Схема електрична принципова.

### 2.2.2 Вибір мікроконтролера

Вибір мікроконтролера здійснимо за матрицею параметрів. Для вибору необхідного МК, оберемо п'ять МК, аналогічні за своєю функціональністю: ATtiny4313, ATmega8535, ATmega168P, ATmega328P, AT89C51 [8,9,10,5,11].

Оскільки максимальна напруга живлення є важливим для нас параметром але у всіх МК вона рівна 5,5 В, то цей параметр не використовується для порівняння.

Табл. 2.1. Основні параметри порівнюваних МК

МК	Кількість RAM, байт	Максимальна швидкодія, MIPS	Кількість інтерфейсів (апаратна підтримка)	Ціна, грн.	Струм споживання (max), мА
ATtiny4313	256	20	4	55	10
ATmega8535	512	16	3	70	25
ATmega168P	1024	16	4	40	18
ATmega328P	2048	20	4	65	14
AT89C51	128	2	1	25	35
Коеф. $b_i$	0,25	0,20	0,2	0,15	0,2



В таблицю введено коефіцієнт важливості (ваговий коефіцієнт). Його величина обирається в відповідності з важливістю того, чи іншого параметру, при цьому важливішому параметру має відповідати більше значення коефіцієнту  $b_j$ . Величина коефіцієнту має бути обмежена:

$$\sum_{j=1}^m b_j = 1 \quad (2.1)$$

Ваговий коефіцієнт обрано таким чином, щоб визначити основні параметри – кількість пам'яті з довільним доступом (один з найважливіших параметрів для вибору МК, оскільки від цього параметру залежить кількість пам'яті для змінних та розширення функціоналу пристрою), струм споживання (прилад буде переносний, то ж автономність роботи є одним з вирішальних параметрів), максимальна швидкодія МК (важливий параметр, відповідає за швидкодію усього приладу), кількість інтерфейсів (важливий параметр, відповідає за зв'язок МК з іншими блоками приладу) та ціновий фактор – ціна за одиницю (найменш важливий параметр при виробництві ЕОА).

Згідно з таблицею основних параметрів (таблиця 2.1), за пишемо матрицю параметрів  $X$ :

$X =$

256	20	4	55	10
512	16	3	70	25
1024	16	4	40	18
2048	20	4	65	14
128	2	1	25	35

Проаналізуємо параметри матриці  $X$ . Приведемо їх до такого виду, щоб більшому значенню параметра відповідала краща якість МК. Параметри, що не задовольняють цю умову, перераховуємо за формулою 2.2:

$$Y_{ij} = 1/X_j \quad (2.2)$$

де  $i = 1, n$  – кількість обраних ІС;

$j = 1, m$  – кількість параметрів ІС.

Найкращими параметрами мікросхеми є: велика кількість RAM, висока швидкодія, велика кількість інтерфейсів, низька ціна, низький струм споживання. Виходячи з цього матриця приведених параметрів має вигляд:

$$Y =$$

256	20	4	0.018	0.1
512	16	3	0.014	0.04
1024	16	4	0.025	0.056
2048	20	4	0.015	0.07
128	2	1	0.04	0.03

Далі матрицю  $|Y|$  приведених параметрів приведемо до матриці  $|A|$  – нормованих параметрів. Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою 2.3:

$$A_{ij} = \frac{\max_j y_{ij} - y_{ij}}{\max_j y_{ij}} \quad (2.3)$$

Де  $\max_j$  – максимальний елемент в стовпці  $j$  матриці  $Y$

$y_{ij}$  – поточне значення елемента в стовпці  $j$  матриці  $Y$

Матриця нормованих параметрів  $A$  має вигляд

$$Y =$$

0,875	0	0	0,55	0
0,75	0,2	0,25	0,65	0,6
0,5	0,2	0	0,375	0,44
0	0	0	0,625	0,3
0,9375	0,9	0,75	0	0,7

Для аналізу системи параметрів вводять оціночну функцію  $Q_i$ , яка визначається за формулою 2.4:

$$Q = \sum^n a_j b_j \quad (2.4)$$

МК	Q
ATtiny4313	0.30125
ATmega8535	0.495
ATmega168P	0.30925
ATmega328P	0,15375
AT89C51	0,7044

Табл. 2.2 Значення оціночної функції для вибраних МК

Визначивши  $Q_i$  для кожного з порівнюваних мікроконтролерів, виберемо той, який найбільше задовольняє вимогам, що пред'являються до приладу. Меншому значенню  $Q$  відповідає - кращий МК.

З аналізу значень  $Q_i$  робимо висновок, що МК ATmega328P є оптимальним за розглянутими параметрами. Оскільки апаратна обчислювальна платформа Arduino Nano (Uno) базується на даному МК та у мікроконтролер вже записаний завантажувач (bootloader), тому зовнішній програматор не потрібен, а це полегшує процес розробки програмного забезпечення для приладу, також дозволяє швидко змінювати модулі, оновлювати програмне забезпечення та дозволяє легко створити прототип приладу. Виходячи з вище сказаного, доцільно буде використовувати готове рішення Arduino UNO [19] для створення прототипу на основі МК ATmega328P.

### 2.2.3 Вибір АЦП

Відповідно до умов зазначених у ТЗ та розроблюваної схеми проведемо вибір АЦП для розроблюваного пристрою. За вимогами визначеними у ТЗ: частота дискретизації АЦП повинна бути не менше 1 МГц, а розрядність 8 біт. АЦП повинно мати змогу передавати данні на мікроконтролер для можливості їх обробки та відображення, тому мікросхема повинна мати

змогу передавати данні хоча б за допомогою одного з інтерфейсів: UART, SPI або I2C. Також було враховано: розміри корпусу мікросхеми (корпусу типу SMD віддавався більший пріоритет підчас вибору), наявність та доступність АЦП на ринку та ціна на відповідні моделі.

Обрано АЦП фірми Texas Instruments ADC081S101 [12], основні характеристики наведено у таблиці 2.3, яке повністю задовольняє умови, що були перераховані вище.

Табл. 2.3 Основні характеристики ADC081S10

Напруга живлення	+2,7В ... +5,25В
Діапазон робочих температур	−40°C ...+85°C
Межі вимірюваної напруги на вході АЦП (Верхня границя залежить від максимальної напруги живлення)	0В ... +5.25В
Розрядність	8 біт
Частота дискретизації	1 МГц

## 2.2.4 Вибір інших мікросхем

Елементи обираються відповідно до задач які вони повинні виконувати.

Основні критерії для вибору операційного підсилювача та аналогового мультіплексора: напруга живлення, полоса пропускання сигналу повинна бути не менше ніж в 10 разів більшою за частоту дискретизації АЦП [7], струм споживання, кількість входів та рівні керування (для мультіплексора).

Відповідно до цих критеріїв обрано аналоговий мультіплексор фірми Analog Devices ADG704 [13], який повинен виконувати функцію комутації аналогових сигналів та операційний підсилювач фірми Analog Devices AD8033 [14], що виконує функцію буфера (повторювача) для передачі сигналу та драйвера АЦП. Також обрано регулятор напруги, основні критерії вибору: вихідна напруга повинна складати 5В, діапазон вхідної напруги повинен відповідати вказаному у ТЗ та максимальний вихідний струм. Виходячи з вище сказаного обрано регулятор напруги фірми Texas Instruments UA78M05 [15].

### 2.2.5. Вибір типу резисторів

При виборі резисторів враховуємо наступні параметри:

- номінальний опір
- розсіювана потужність
- допуск
- робоча температура
- тип резистора
- корпус, тип монтажу резистора
- максимальна робоча напруга

Виходячи з вимог, викладених у ТЗ усі резистори у приладі будемо використовувати у корпусі типу SMD 0805 (чіп-резистор), оскільки розміри таких резисторів менші ніж типу SMD 1206 (пристрій буде переносним) це дозволяє зменшити його вагу та розміри, а максимальна розсіювана потужність – 0,125 Вт достатня для роботи пристрою. Для досягнення високої точності вимірювання у приладі будемо використовувати резистори з ряду Е 96 з точністю  $\pm 1\%$ , робоча температура  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ , максимальна робоча напруга 150В є достатньою для роботи приладу.

### 2.2.6 Вибір типу конденсаторів

При виборі конденсаторів враховуємо наступні параметри

- номінальна ємність конденсатора
- робоча напруга конденсатора
- тип конденсатора
- робоча температура
- допуск

Виходячи з вимог ТЗ, будемо використовувати чіп-конденсатори SMD 0603, конденсатори такого типу мають малі розміри та масу, що є гарним параметром для переносного пристрою. Максимальна робоча напруга даних керамічних конденсаторів складає 50В, що є достатнім для роботи

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

приладу. Температурний коефіцієнт ємності обираємо зі значенням  $\times 7\%$ , він має гарні температурні параметри (не сильно змінює свої характеристики в залежності від температури, що є ганим для переносного пристрою), робочу температуру у межах  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$  та похибку  $\pm 10\%$ . Данні параметри задовольняють вимоги ТЗ.

### 2.2.7. Вибір екрану

Оскільки у ТЗ немає прямих рекомендації, щодо вибору екрану пристрою, будемо керуватися такою основною умовою—портативність пристрою, тому основними параметрами вибору приймемо: напруга живлення не більше 5В, малий струм споживання, габаритні розміри екрану, швидкість відображення (оновлення), доступні інтерфейси зв'язку (UART, SPI, I2C), доступність на ринку, ціну та можливість швидкої заміни екрану, у разі виходу його з ладу.

Виходячи з вище сказаного, обрано готовий екранний модуль фірми Waveshare 1.3inch OLED (B), основні характеристики наведено у таблиці 2.4, екранний модуль має вже встановлений контролер SH1106, це полегшує розробку пристрою, та надає змогу у разі певної несправності легко замінювати модуль.

Таблиця. 2.4 Основні характеристики екранного модуля 1.3inch OLED (B) [16].

Напруга живлення	+3,3В ... +5В
Інтерфейси 3-wire	3-wire SPI, 4-wire SPI, I2C
Діагональ екрану	1,3 дюйми
Роздільна здатність екрану	128 на 64 пікселів
Габаритні розміри	40.50 мм на 37.50 мм
Діапазон робочих температур	$-30^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$

### 2.2.8. Вибір діодів та світлодіодів

Для індикації використовуються світлодіоди KLS9-T0805UGC, які мають малий струм споживання та необхідну яскравість. Діоди обрані відповідно до функцій, які вони виконують в схемі, а саме функцію захисту від перевищення

допустимої напруги на вході осцилографа. Основним критерієм при цьому були: напруга, швидкість відкриття каналу, ємність діоду, а також зворотня напруга пробою діода. Обрано діоди Шотткі BAT30, що забезпечують умови ТЗ та задані критерії.

### 2.2.9. Вибір кнопок

Відповідно до умов ТЗ обрано кнопки DTSM-32 в корпусі SMD та з робочою напругою 12 В. На кнопки створюється механічне навантаження, тож вони вибиралися з огляду на надійність роботи під навантаженням.

### 2.2.10. Вибір кварцевого резонатору

Обираємо кварцевий резонатор HC-49/U, в SMD корпусі. Має температурний діапазон ( $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ ), який покриває температурний режим роботи пристрою, необхідну частоту (16 МГц) є доступним.

### 2.11. Вибір і обґрунтування типу матеріалу, методу виготовлення і класу точності ДП

#### *Вибір типу друкованої плати*

Друкована плата призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якої розміщені конструктивні елементи,

а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу. Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи: односторонні (Одношарові)

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– ОДП, двосторонні (двошарові) – ДДП і багатошарові – БДП. Згідно ТЗ для розробки осцилографа набір оптимальних параметрів має ДДП.

Більш того рівень складності схеми не дозволяє розробити її на ОДП і в той же час з відомих причин (складність виготовлення, низька ремонтпридатність, вартість виготовлення) немає необхідності застосовувати БДП. ДДП

мають малюнок на двох сторонах плати. Вони мають високу щільністю монтажу, підвищеною надійністю з'єднань. Дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. ДДП мають високу механічну міцність їх кріплення. Ці ДП допускають монтаж штирьових елементів з одного боку, а SMD – компонентів з двох сторін. Це дозволяє реалізувати на них більш складні схеми, ніж

на ОДП. Тому ДДП широко застосовуються в електронній апаратурі.

Вибір і обґрунтування матеріалу ДП При виробництві ДП застосовуються віт-

чизняні та імпорتنі матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійкими до кліматичних впливів та мати опірність до займання. Цим вимогам задовольняють електротехнічні матеріали: склотекстоліт, кераміка, фторопластова плівка, та ін. Матеріали, що задовольняють основні вимоги до ДП є композиційні матеріали FR-1 ... FR-5. Найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і МДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою композитний матеріал на основі скловолокна

(склотекстоліта). Має товщину 1,6 мм і складається з 8 шарів склотекстоліта. Застосування FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, а це важливо для

монтажу елементів. Таким чином, для реалізації ДДП обраний сучасний, з гар-

ними параметрами матеріал FR-4.

### ***Вибір і обґрунтування класу точності***

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						448
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору

між елементами провідників і до ряду інших параметрів. ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП (Таблиця 2.1) [3]. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом.

Таблиця 2.5 Параметри класів точності ДП [17]

Условное обозначение	Номинальное значение основных размеров для класса точности				
	1	2	3	4	5
b, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b <sub>по</sub> , [мм]	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
K <sub>дт</sub>	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

У таблиці 2.5 параметр b, [мм] - ширина друкованого провідника; S, [мм] – відстань між краями сусідніх провідників; b<sub>по</sub>, [мм] - гарантований поясок; КДТ – відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати. Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на рядовому обладнанні, а іншого навіть на обладнанні, що не спеціалізованому для виготовлення ДП. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. ДП третього класу – найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого – для їх виробництва досить рядового, хоча і спеціалізованого устаткування. ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимога до матеріалів, обладнання і виробничих приміщень нижче, ніж для

п'ятого класу. Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення в виробничих приміщеннях «чистої зони».

Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво. Однак, ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятого класу на обладнанні, що забезпечує виробництво плат четвертого класу. Розроблювальний пристрій має SMD-компоненти, тоді клас точності повинен забезпечувати досить високу щільність монтажу, малі габарити, високу надійність. Для конструюється ДП

вибираємо 4 клас точності, так як він забезпечує достатню щільність трасування, монтажу з урахуванням необхідних габаритів пристрою та не потребує спеціалізованого обладнання.

### ***Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати***

Існує кілька методів виготовлення друкованих плат: хімічний (субстрактивний), електрохімічний (адитивний), комбінований позитивний метод, напіваддітивний метод з диференціальним травленням. Для виготовлення друкованого вузла обраний комбінований позитивний метод, оскільки він має ряд переваг перед іншими перерахованими вище методами:

- можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високим ступенем допуску;
- захист фольгою ізоляції від технологічних розчинів - висока надійність ізоляції;
- висока міцність зчеплення (адгезія) металевих елементів плати з діелектричним шаром.

### **Висновки:**

1. Обрані компоненти повністю задовольняють вимоги ТЗ до умов експлуатації та зазначених характеристик, а обраний метод виготовлення та клас точності ДП, дозволяють створити якісну ДП та провести якісний монтаж компонентів.

### **2.2.12. Висновки за Розділом 2:**

1. Обґрунтовано напрямок розробки
2. Розроблена схема структурна
3. Розроблена схема функціональна
4. Розроблена схема електрична
5. Виконані розрахунки щодо вибору елементної бази за частотою, електричними режимами та допусками.
6. Визначені вимоги до друкованої плати

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

7. Здобутки за розділом 2 використані для підготовки та публікації статті у фаховому виданні

### 3. Розрахунок конструкції виробу

#### 3.1. Розміщення конструктивних елементів на платі

При вирішенні задачі розміщення КЕ завжди дана схема електрична принципова, яка описана матрицею зв'язків  $A$  та дано дискретний монтажний

простір, який описується матрицею відстаней  $D$ .

Потрібно на кожне вакантне посадкове місце розмістити КЕ таким чином, щоб

функція якості розміщення була оптимальною.

В якості критеріїв оптимальності використовують ряд критеріїв:

- мінімум сумарної довжини всіх з'єднань, тобто довжини всіх провідників повинні бути короткими. Ці провідники займають малу область монтажного простору та створюють сприятливі умови для прокладки різних варіантів трас;
- мінімізація числа найбільш довгих з'єднань;
- максимально близьке розміщення КЕ, що мають найбільше число зв'язків між собою;
- максимальне число провідників простої конфігурації і т.д..

Виконаємо дії для спрощення схеми електричної принципової.

При спрощення схеми було виключено прості елементи, такі як: резистори, котушки, конденсатори, діоди.... Для подальших дій залишені мікросхеми, роз'єми та кнопки.

Нам дана схема, що містить множину елементів:

$X = \{XS1, XS2, XS3, XS4, DA1, DA2, DD1, DD2, DD3, DD4, DD5, SB1 \dots SB5\}$

Для більш зручного складання матриці зв'язків і аналізу результатів, будемо використовувати SB, як компонент, що включає SB1, SB2, SB3, SB4, SB5. В такому випадку спроститься множина елементів:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$X = \{ XS1, XS2, XS3, XS4, DA1, DA2, DD1, DD2, DD3, DD4, DD5, SB \}$

При цьому елементи XS1, XS2, XS3, XS4 повинні розміщуватися з краю плати, а розміщення елемента SB відповідно залежить від розташування XS2.

Розміщення інших елементів виконаємо послідовним алгоритмом.

Послідовний алгоритм представляє собою покроковий процес розташування.

На кожному кроці вибирається елемент, що максимальну зв'язність з вже розташованими елементами та розташовується в одну оптимальну вільну позицію при незмінному положенні раніш розміщених елементів. Критерій оптимізації: мінімальна сумарна довжина зв'язків між розміщеними елементами.

Опишемо спрощену схему матрицею зв'язків A. В таблиці 3.1 представлено матрицю зв'язків компонентів.

Табл. 3.1. Матриця зв'язків

	XS 1	XS 2	XS 3	XS 4	DA 1	DA 2	DD 1	DD 2	DD 3	DD 4	DD 5	S B	$\Sigma$
XS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
XS2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
XS3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
XS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
DA 1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3
DA 2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	3
DD 1	0	0	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	5
DD 2	0	2	0	0	0	0	2	0	3	0	3	5	15
DD 3	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	4
DD 4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DD 5	0	0	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	7
SB	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5

Як показує аналіз таблиці 3.1., роз'єми: XS1, XS2, XS3, XS4 мають бути розміщені по краях плати. Компоненти DD3 та DD5, DD5 та SB слід розміщувати поруч один з одним, бо вони є сильно зв'язаними. XS1 слід розмістити недалеко від DD4. XS4 та DD5 також слід розмістити поруч. Є сенс розмістити ці роз'єми XS1 та XS4 поруч, з одного краю плати, розмістивши біля них DD4 та DD5. Враховуючи аналіз та матрицю зв'язків, отримали наступне розташування елементів.

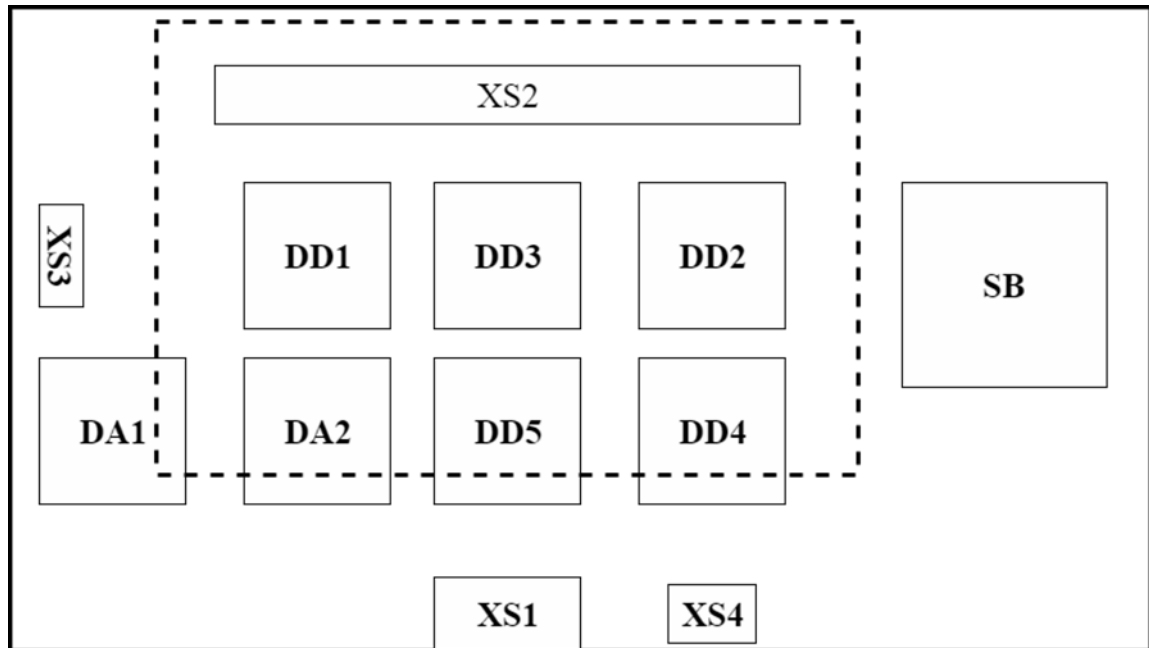


Рис. 3.1. Розміщення КЕ на друкованій платі

Штриховою лінією показано розміщення екрану, він має розміщуватися у XS2 та знаходитися зверху інших компонентів. Від результатів розташування елементів залежать такі параметри друкованого вузлу:

- габарити;
- вага;
- надійність;
- завадостійкість.

Тому при установці елементів на ДП слід враховувати всі наслідки вибору варіанту їх розташування. Вибір кроку розташування ІС на ДП визначається температурним режимом, складністю принципової схеми, параметрами кор

пусу. При цьому зазор між корпусами не повинен бути меншим 1.25мм. ІС на ДП розташовуються лінійно-багаторядно. Допускається розташування ІС в шахматному порядку. Таке розташування дозволяє ефективно використовувати корисну площу ДП. Корпуси штирьових ІС рекомендується встановлювати з однієї сторони плати. З двох сторін плати дозволяється встановлювати ІС в корпусах з планарними виводами [17].

### 3.2. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу (ДМ) з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу та допустимі похибки наведені в таблицях 3.2 та 3.3 [17].

Таблиця 3.2 Класи точності ДП

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$r$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.3 Допустимі похибки

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	$\delta_o$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

### 3.2.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму  $b_{minI}$  (мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом х.1:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}}, \quad (3.1)$$

де:

$I_{max}$  - максимально можливий струм в ланцюгу, А

$j_{доп}$  - допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом,

$$j_{доп} = 48 \frac{A}{mm^2}$$

$t_{пров}$  - товщина друкованого провідника, мм

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом.

Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, \quad (3.2)$$

Де  $h_{\phi}$  - товщина фольги та залежить від матеріалу, який вибрали для виготовлення друкованої плати.

Тобто:  $h_{ГМ}$  - товщина шару гальванічно осадженої міді,

$h_{ХМ}$  - товщина шару хімічно осадженої міді,

Матеріал який будемо використовувати FR4-2-35-1.5.

$$h_{\phi} = 0.035 \text{ мм}$$

$$h_{ГМ} = 0.055 \text{ мм}$$

$$h_{ХМ} = 0.0065 \text{ мм}$$

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{ГМ} + h_{ХМ} = 0.035 + 0.055 + 0.007 = 0.097 \text{ мм}$$

Параметр  $I_{max}$  у виразі визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, що споживаються елементами схеми, представлені в таблиці 3.4.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4. Значення струмів, що споживають елементи.

IC	Кількість IC	Струм споживання (max), мА
ATmega328p	1	14
UA78M05	1	5
FT232RL	1	15
AD8033	2	3,3
ADG704	1	0,001
ADC081S101	1	2
1.3inch OLED (B)	1	30
KLS9-T0805UGC	4	30

$$I_{max} = 14 \times 1 + 5 \times 1 + 15 \times 1 + 3,3 \times 2 + 0,001 \times 1 + 2 \times 1 + 30 \times 1 + 30 \times 4 = 192,6 \text{ мА (3.3)}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” визначається наступним чином формула 4.4:

$$b_{minU} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}} = \frac{192,6 \times 10^{-3}}{48 \times 0,097} = 0,041 \text{ мм (3.4)}$$

Отримане значення  $b_{minI} = 0,041$  мм мінімальної ширини провідника 4 класу точності  $b_{пр}^r = 0,15$  мм . Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” дорівнює має дорівнювати 0.15мм.

### 3.2.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом 3.5:

$$b_{minU} = \frac{\rho \times I_{max} \times L_{пров}}{t_{пров} \times U_{доп}}, \quad (3.5)$$

де  $\rho$  - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним



методом,  $\rho = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$  - довжина самого довгого друкованого провідника на ДП.

$U_{\text{доп}}$  - допустиме падіння на пруги на друкованому провіднику,

$$U_{\text{доп}} = 5\% \times E_{\text{П}} = 0.05 \times 5 = 0,25 \text{ В}$$

$$L_{\text{пров}} = 0,412 \text{ м}$$

$$b_{\text{min}U} = \frac{\rho \times I_{\text{max}} \times L_{\text{пров}}}{t_{\text{пров}} \times U_{\text{доп}}} = \frac{0.0175 \times 192,6 \times 10^{-3} \times 0,412}{0,097 \times 0,25} = 0,0573 \text{ мм}$$

### 3.2.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r \quad (3.6)$$

де:  $d_{\text{ве}}$  - діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтаж-ного отвору,  $\Delta d_{\text{МО}}$  - нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,  $\Delta d_{\text{МО}} = 0.1 \text{ мм}$ ,

$r$  - різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента,  $r = 0.1 \dots 0.2 \text{ мм}$ .

В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки:

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.5 + 0.1 + 0.2 = 0.8 \text{ мм}$$

### 3.2.4. Визначення діаметру контактного майданчику

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min}1} + 1.5h_{\text{ф}} + 0.03, \quad (3.7)$$

де  $D_{\text{min}1}$  - мінімальний ефективний діаметр КМ, мм

$h_{\text{ф}}$  - товщина фольги,  $h_{\text{ф}} = 0.035 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт  $1.5h_{\text{ф}}$  враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину.

0.03 - КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{min}} = 2 \left( b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{КМ}} \right) \quad (3.8)$$

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		557

де:  $d_{max}$  - максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, мм

$b_{по}$  - ширина пояски КМ,  $b_{по} = 0.05$  мм

$\delta_o$  - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,  $\delta_o = 0.07$  мм

$\delta_{KM}$  - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС,  $\delta_{KM} = 0.05$  мм

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП за формулою (3.9):

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) \quad (3.9)$$

де:  $d$  - номінальний діаметер МО, мм

$\Delta d$  - допуск на діаметер отвору,  $\Delta d = 0.05$  мм

$$\delta_{KM} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 0.8 + 0.05 + 0.1 = 0.95 \text{ мм}$$

Тоді  $D_{min1}$ :

$$D_{min1} = 2 \left( b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{KM} \right) = 2 (0.05 + 0.95:2 + 0.07 + 0.05) = 1.29 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 h_{\phi} + 0.03 = 1.29 + 1.5 \times 0.035 + 0.03 = 1.37 \text{ мм},$$

Нас цікавить максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 = 1.37 + 0.02 = 1.39 \text{ мм}$$

Визначимо мінімальну ширину провідника:

$$b_{min} = b_{пр}^r + h_{\phi} + 0.03 \quad (3.10)$$

де:  $b_{пр}^r$  - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності.

Для четвертого класу точності ДМ  $b_{пр}^r = 0.15$  мм

Тоді:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1.5 h_{\phi} + 0.03 = 0.15 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ мм}$$

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.23 + 0.02 = 0.25 \text{ мм}$$

### 3.2.5. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.

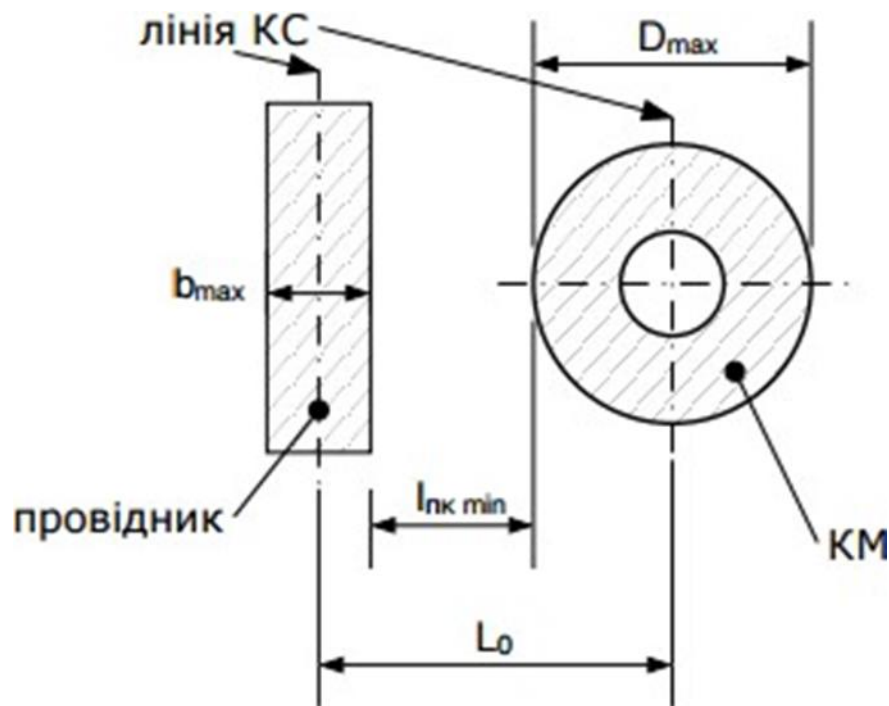


Рис. 3.1. Мінімальна відстань провідником та контактним майданчиком

$$L_{\text{ПМК min}} = L_0 - \left( \frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right) \quad (3.11)$$

$L_0$  – відстань між центрами отвору та друкованого провідника, що є кратним кроку КС:  $L_0 = 1.25\text{мм}$ .

$D_{\text{max}}$  – максимальний діаметер КМ

$b_{\text{max}}$  – максимальна ширина провідника

$\delta_{\text{КМ}}$  – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС,

$\delta_{\text{КМ}} = 0.05\text{мм}$

$\delta_{\text{СП}}$  – похибка, що враховує зміщення провідника,  $\delta_{\text{СП}} = 0.05\text{мм}$

$$L_{\text{ПМК min}} = L_0 - \left( \frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right) = 1.25 - (1.5:2 + 0.05 + 0.25:2 + 0.05) = 0,275 \text{ мм}$$

### 3.2.6. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

провідниками (між краями провідників):

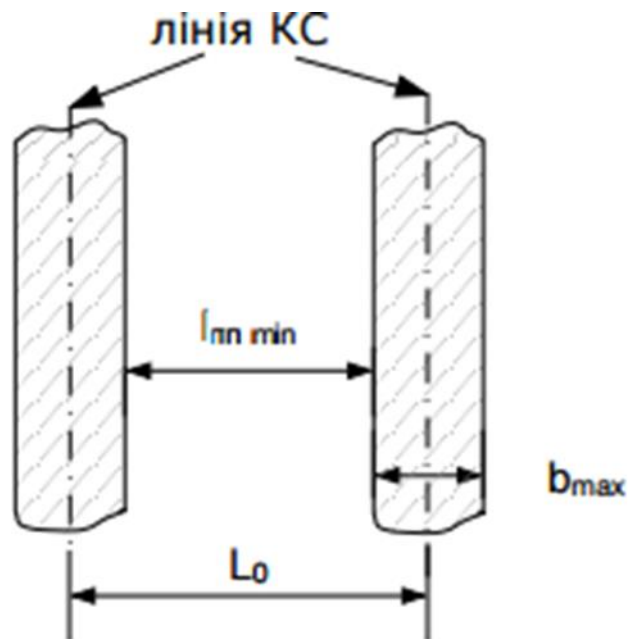


Рис. 3.2. Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками

$$L_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{сп}}) \quad (3.12)$$

$$L_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{сп}}) = 1,25 - (0,25 + 2 \times 0,05) = 0,9 \text{ мм}$$

### 3.2.7. Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

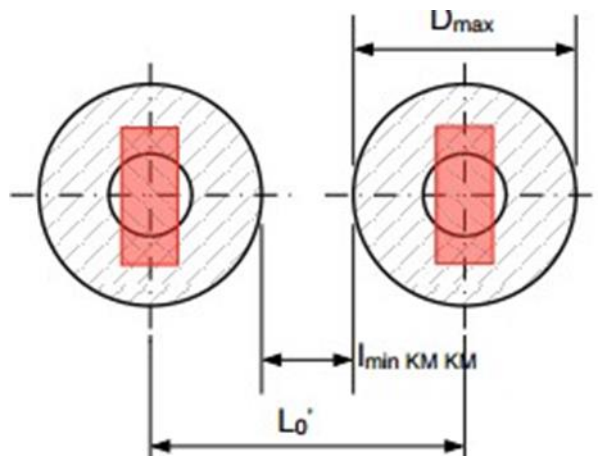


Рис. 3.3. Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками

$$L_{\text{min КМ}} = L_0' - (D_{\text{max}} + 2\delta_{\text{КМ}})$$

де:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$L'_0$  - відстань між центрами сусідніх КМ,  $L'_0 = 2.5$  мм.

$$L_{min\text{ КМ}} = L'_0 - (D_{max} + 2\delta_{\text{КМ}}) = 2,5 - (1,5 + 2 \times 0,05) = 0,9 \text{ мм}$$

### 3.3. Електричний розрахунок друкованої плати

#### 3.3.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається формулою:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} \quad (3.14)$$

де:

$\rho$  – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу

виготовлення ДП,  $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$l_{\text{пр}}$  – максимальна довжина друкованого провідника в ланцюгу «землі»,

$$l_{\text{пр}} = 0,412 \text{ м}$$

$t_{\text{пр}}$  - товщина провідника,  $t_{\text{пр}} = 0,0965$  мм

$I_{\text{max}}$  – максимальний струм, що проходить через провідник, визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, було розраховане у попередньому розділі та складає:

$$I_{\text{max}} = 0,1926 \text{ мА}$$

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,1926 \cdot 0,07}{0,035 \cdot 0,0965} = 0,07 \text{ В}$$

Розраховане  $U_{\text{пад}}$  не перевищує 5% від напруги живлення 5В.

#### 3.3.2. Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається за формулою:

$$P_{\text{вт}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg} \sigma, \quad (3.15)$$

де  $f=1$ , для постійного струму

$\text{tg}\sigma$  – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу ДП,  $\text{tg}\sigma = 0,002$  для матеріалу ДП FR4

C – ємність ДП

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (3.16)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність,  $\varepsilon=4,5$  для FR4

$S_m$  - площа металізації, мм<sup>2</sup>

$h$  - товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 340}{1,5} = 9,18 \text{ нФ}$$

$$P_{\text{ВТ}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 9,18 \cdot 10^{-9} \cdot 25 \cdot 0,002 = 2,88 \text{ нВт}$$

### 3.3.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (3.17)$$

де  $S$  – відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}$  – ширина друкованого провідника, мм

$t_{\text{пр}}$  – товщина друкованого провідника, мм

$l_{\text{пр}}$  – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 5,5 \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot 0,15}{0,15 + 0,097} \right]^{-1} = 7,7 \text{ пФ}$$

### 3.3.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = 0,02(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}) \quad (3.18)$$

де  $l_{\text{пр}}$  – довжина перекриття паралельних провідників, см

$L_0$  – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, см

$M =$

$$0,02(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}) = 0,02(5 * \lg \frac{\sqrt{25 - 0,0156} + 5}{0,125} - \sqrt{25 - 0,0156} + 5) = 1,19 \text{ нГн}$$

### 3.4. Розрахунок надійності

#### 3.4.1. Визначення основних параметрів надійності

Для визначення надійності приладу можна оцінити час напрацювання на відмову. Він визначається в залежності від умов використання готового приладу. Для оцінки ймовірності безвідмовної роботи необхідно оцінити інтенсивність відмов в певний момент часу за формулою 3.19:

$$f(t) = e - \lambda t, \quad (3.19)$$

Ймовірність відмови визначається наступною формулою 3.20:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e - \lambda t, \quad (3.20)$$

Середній час безвідмовної роботи розраховується за допомогою наступної формули 3.21:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.21)$$

Вихідною характеристикою надійності ЕРЕ є інтенсивність відмов. Вона залежить від режиму роботи та від зовнішніх впливів:

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (3.22)$$

де:  $\lambda_{oe}$  - інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи;

коефіцієнт електричного навантаження  $K_n = 1, K_1, K_2, \dots$ ,

$K_n$  - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Щоб врахувати, як впливає режим роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження. Він дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_H = \frac{N_{раб}}{N_{ном}}, \quad (3.23)$$

Розраховуємо значення коефіцієнту навантаження для різних елементів:

### **Резистори:**

Виходячи з формули 3.23, отримали наступну формулу для резисторів:

$$K_{H.p} = \frac{P_{раб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}}, \quad (3.24)$$

Резистори обрано SMD 0805-0.125,1% проте вони відрізняються номіналом:

R1(511кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{25}{511\,000 \cdot 0,125} = 0,0004$$

R2(487кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{25}{487\,000 \cdot 0,125} = 0,0004$$

R3(100кОм):

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{100\,000 * 0,125} = 0,002$$

R4(11кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{11\,000 * 0,125} = 0,0018$$

R5(499Ом):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{499 * 0,125} = 0,4$$

R6(300Ом):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{300 * 0,125} = 0,67$$

R7, R8 (100Ом):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{100 * 0,125} = 2$$

R9(1кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{1\,000 * 0,125} = 0,2$$

R10(4,02кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{4020 * 0,125} = 0,05$$

R11(4,99кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{4990 * 0,125} = 0,04$$

R12(93,1Ом):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{93,1 * 0,125} = 2,15$$

R13, R20, R23, R24(56Ом):

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R * P_{\text{НОМ}}} = \frac{25}{56 * 0,125} = 3,57$$

R14...R19(10кОм):

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{H.p} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{25}{10\,000 \cdot 0,125} = 0,02$$

R21, R22(1кОм):

$$K_{H.p} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{25}{1\,000 \cdot 0,125} = 0,2$$

### **Конденсатори:**

Виходячи з формули 3.23, отримали наступну формулу для резисторів:

$$K_H = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} \quad (3.25)$$

У приладі використовуються усі конденсатори з номінальною напругою 50В, за формулою 3.25 маємо:

$$K_H = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5}{50} = 0,1$$

### **Діоди:**

Відповідно до формули 3.23 маємо:

$$K_H = \frac{I_{роб}}{U_{ном}} = \frac{100}{300} = 0,33$$

### **Визначаємо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу:**

Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при  $T_p = 20^\circ\text{C}$ , інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку  $\lambda_p$  – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів. По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$  зведені до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$ .

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8}, \text{ год}^{-1}$	$K_H$	$a_t$	$a_e$	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-8}$
Конденсатори						

<i>SMD 0603-50B</i>	19	2	0,1	0,4	20	30,4
Кварцевий резонатор	1	4,6	0,8	1	20	73,6
<b>Кнопки</b>	6	4	10	0,2	20	960
<b>Резистори</b>						
<i>SMD0805-511кОм</i>	1	5	0,0004	0,15	20	0,006
<i>SMD0805-487кОм</i>	1	5	0,0004	0,15	20	0,006
<i>SMD0805-100кОм</i>	1	5	0,002	0,15	20	0,03
<i>SMD0805-11кОм</i>	1	5	0,018	0,15	20	0,27
<i>SMD0805-499Ом</i>	1	5	0,4	0,15	20	6
<i>SMD0805-300Ом</i>	1	5	0,67	0,15	20	10,05
<i>SMD0805-100Ом</i>	2	5	2	0,15	20	60
<i>SMD0805-1кОм</i>	1	5	0,2	0,15	20	3
<i>SMD0805-4,02кОм</i>	1	5	0,05	0,15	20	0,75
<i>SMD0805-4,99кОм</i>	1	5	0,04	0,15	20	0,6
<i>SMD0805-93,1кОм</i>	1	5	2,15	0,15	20	32,25
<i>SMD0805-56Ом</i>	4	5	3,57	0,15	20	214,2
<i>SMD0805-10кОм</i>	6	5	0,02	0,15	20	1,8
<i>SMD0805-1кОм</i>	2	5	0,2	0,15	20	6
<b>Діоди</b>						
BAT30	3	0,3	0,33	0,7	20	4,158
kl5 9-0805UGC	4	0,7	1	0,7	20	39,2
<b>ІС</b>						
<i>ATmega328</i>	7	0,5	1	1	20	70
<i>AD8033</i>						
<i>ADG704</i>						
<i>ADC081S101</i>						
<i>FT232RL</i>						
<i>ua78m05</i>						
<b>Друкована плата</b>	2	10	1	1	20	400
<b>Контакт роз'єма</b>	12	2	1	1	20	480
<b>Пайка виводів</b>	252	0,05	1	1	20	252
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла					<b>2570,7</b>	

В таблиці 3.5:

- $a_e$  – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх факторів (для переносної апаратури  $a_e = 20$ );
- $a_t$  - поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені. Це дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів визначається за формулою:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (3.26)$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 2570,7 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{2570,7 \cdot 10^{-8}} = 38900 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-2570,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8760} \approx 0,799$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda_p t} = 1 - 0,869 = 0,201$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступних графіках:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

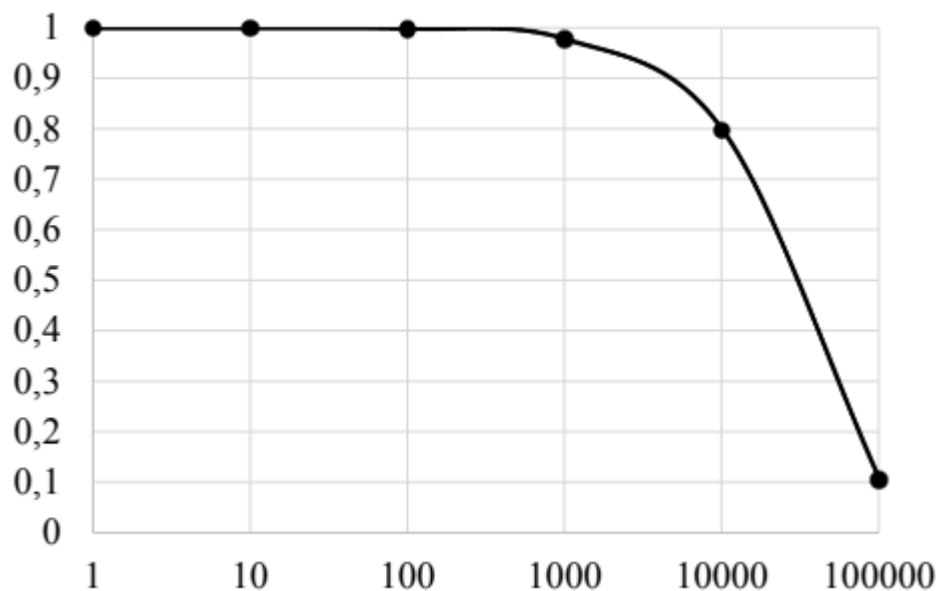


Рис.3.3. Графік залежності безвідмовної роботи ДВ від часу

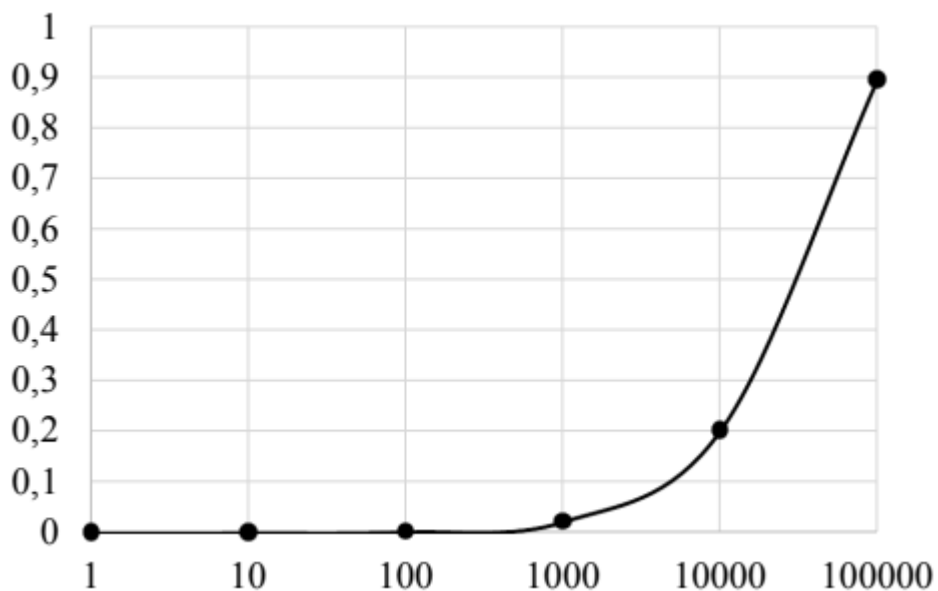


Рис.3.3. Графік ймовірності відмови ДВ в залежності від часу

### 3.4.2. Розрахунок середнього часу ремонту

Середній час ремонту можна визначити за наступною формулою:

$$T_{\text{оср}} = \sum_{i=1}^n t_{pi} * m_i, \quad (3.27)$$

де:  $T_{\text{оср}}$  – середній час ремонту, год;

$n$  – кількість відмов за годину  $t$ ;

$t_{pi}$  – час ремонту групи елементів, ч;

$m_i$  – вагомість відмов групи елементів.

Вагомість відмов групи елементів визначається за формулою:

$$m_i = m / n, (3.28)$$

де  $m$  – кількість відмов в одній групі елементів.

Всі необхідні дані для розрахунків заносимо в таблицю, елементи розміщуються по групах відповідно до їх конструктивних відповідностей.

Час, що витрачений на ремонт, включає в себе час затрачений на демонтаж несправного та встановлення нового елемента.

Таблиця 3.6

№ групи	Назва	Кількість елементів, $k$	Час, що витрачений на ремонт одного елементу $t_{03}$ , хв.
1	Резистори	24	3
2	Конденсатори	19	4
3	Діоди	7	4
4	Роз'єми (гнізда):		
	2 контакти	2	5
	8 контактів	1	20
	9 контактів	1	25
Загальна сума в групі:		4	
5	Кнопки	6	7
6	Мікросхеми в корпусах:		
	SOP28	1	25
	SOT23-5	2	15
	TSSOP10	1	25
	TQFP32	1	30
	SOT230-4	1	10
Загальна сума в групі:		6	
Загальна кількість елементів		66	

За даними з таблиці 3.6 розраховуємо за допомогою формули 3.28, вагомість відмов групи:

$$m_1 = m / n = 24 / 66 = 0.364;$$

$$m_2 = m / n = 19 / 66 = 0.288;$$

$$m_3 = m / n = 7 / 66 = 0.106 .$$

$$m_4 = m / n = 4 / 66 = 0.061 .$$

$$m_5 = m / n = 6 / 66 = 0.091 .$$

$$m_6 = m / n = 6 / 66 = 0.091 .$$

Визначаємо середній час ремонту за допомогою формули (), для цього час ремонту групи  $t_{pi}$  визначаємо як  $t_{pi} = t_{oe} * k$  (таблиця 3.6):

$$T_{OCP} = \sum_{i=1}^n t_{pi} * m_i = \frac{1}{60} [(24 \cdot 3) \cdot 0,364 + (19 \cdot 4) \cdot 0,288 + (7 \cdot 4) \cdot 0,106 + (2 \cdot 5 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 25) \cdot 0,061 + (6 \cdot 7) \cdot 0,091 + (1 \cdot 25 + 2 \cdot 15 + 1 \cdot 25 + 1 \cdot 30 + 1 \cdot 10) \cdot 0,091] = \frac{1}{60} (78,624 + 21,888 + 2,968 + 3,355 + 3,822 + 10,92) = \frac{121,577}{60} = 2,03(\text{год})$$

### 3.5. Розрахунок віброміцності:

Масу елементів наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Маса елементів.

Назва елементу	Кількість	Маса, г	Маса по групі
Резистори	24	0,004	0,096
Конденсатори	19	0,004	0,076
Діоди	7	0,00145	0,01015
Кварцевий резонатор	1	0,13	0,13
Роз'єми (гнізда):			
2 контакти	2	0,01	0,02
8 контактів	1	0,08	0,08
9 контактів	1	0,09	0,09
Екран	1	25	25
Кнопки	6	0,08	0,48
Мікросхеми в корпусах:			
SOP28	1	0,1	0,1
SOT23-5	2	0,05	0,1
TSSOP10	1	0,08	0,08
TQFP32	1	0,1	0,1
SOT230-4	1	0,04	0,096
Загальна маса елементів:			26,36

Визначаємо віброміцність друкованої плати із склотекстоліту розміром  $a*b*\delta=80*50*1.5$ . Вага елементів на платі 26,36г. Виберемо з запасом так,

що маса елементів складатиме 30г, коефіцієнт перевантаження  $n = 8$ , частота вібрацій обрана відповідно до максимальної частоти натискання на кнопки людиною – 300 Гц [18].

Параметри склотекстоліту: тимчасовий опір  $\sigma_T = 105$  МПа, модуль Юнга  $E = 3,2 \cdot 10^{10}$  Па, коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,22$ , показник затухання  $\varepsilon = 0,06$ , питома щільність 2005 кг/м<sup>3</sup>, питома вага  $2,05 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>, коефіцієнт запасу міцності  $n_1 = 2$ .

Варіанти закріплення плат показані на рисунку 3.1.

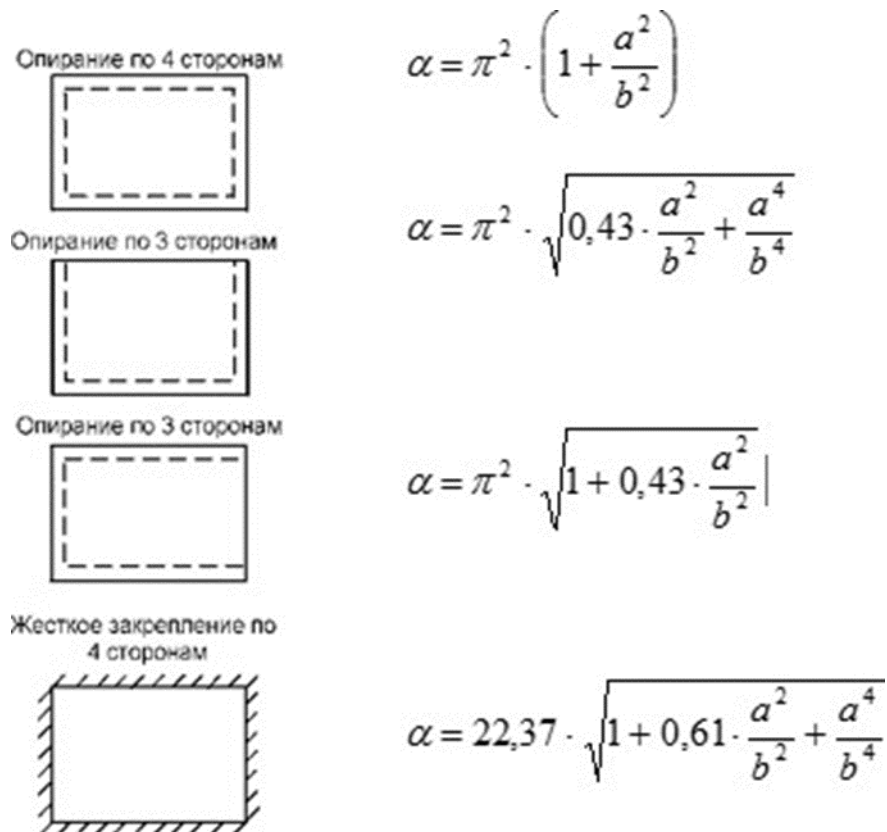


Рис 3.4 Варіанти закріплення друкованих плат

Розрахунок:

1. Визначимо масу друкованої плати і елементів:

$$m_n = a \times b \times \delta \times \rho = 0,080 \times 0,05 \times 0,0015 \times 2005 = 0,01203(\text{кг}) = 12,02(\text{г})$$

$$m_g = 30(\text{г})$$

2. Визначимо коефіцієнт КВ:



$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{\text{Э}}}{m_{\text{П}}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{30}{12,02}}} = 0,54$$

3. Визначимо коефіцієнт  $\alpha$ , обираємо спосіб закріплення по трьом сторонам:

$$\alpha = \pi^2 \sqrt{1 + 0,43 * \frac{a^2}{b^2}} = \pi^2 \sqrt{1 + 0,43 * \frac{0,08^2}{0,05^2}} = 14,28$$

4. Визначимо циліндричну жорсткість D

$$D = \frac{E \times \delta^3}{12(1 - \mu^2)} = \frac{3,02 \times 10^{10} \times 0,0015^3}{12 \times (1 - 0,22^2)} = 8,9 \text{ (мм)}$$

5. Визначимо власну частоту коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} \sqrt{\frac{D * g}{v * \delta}} = \frac{0,54 \times 14,28}{2 \times \pi \times 0,08^2} \sqrt{\frac{8,9 \times 9,81}{2,005 \times 10^3 \times 0,0015}} = 1034 \text{ Гц}$$

Практика показала, що якщо  $f_c > 250$  Гц, то конструкція абсолютно жорстка.

### 3.6. Розрахунок конструкції на дію удару

Відповідно до умов ТЗ пристрій має витримувати падіння з висоти 0,5 м.

Явище удару в конструкціях РЕЗ виникає у випадках, коли об'єкт, на якому встановлено прилад, зазнає швидка зміна прискорення.

Удар характеризується прискоренням, тривалістю і кількістю ударних імпульсів. Розрізняють удари одиночні та багаторазові.

Також ударні впливи характеризуються формою і параметрами ударного імпульсу. Ударні імпульси можуть бути полусінусоїдальної, чверть синусоїдальної, прямокутної, трикутної та трапецієподібної форми. Максимальний вплив на механічну систему надає імпульс прямокутної форми. Пара-

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

метрами ударного імпульсу є:

- тривалість ударного імпульсу ( $\tau$ );
- амплітуда прискорення ударного імпульсу ( $H_y$ ).

Метою розрахунку є визначення удароміцності конструкції при впливі удару, оскільки конструкція буде використовуватися у різних приміщеннях, и при різних умовах. Для цього доцільно буде розрахувати ударостійкість, наприклад, при падінні зі стола або лабораторного стенду. Ударний імпульс діє тільки протягом часу  $\tau_e$ . Величина  $\omega = \pi/\tau_e$  отримала назву умовної частоти імпульсу.

Вихідними даними для розрахунку конструкції на ударостійкість є:

- параметри ударного імпульсу ( $\tau$ ) і ( $H_y$ )
- параметри конструкції;
- характеристики матеріалів конструкції або власна частота коливань механічної системи.

Форма ударного імпульсу – прямокутна:

$$\tau_u = 8\text{мс}$$

Розміри плати  $a*b*\delta=80*50*1,5$  мм;

$f_c=1034$  Гц (див. розрахунок на віброміцність);

$$a_{y\text{доп}} = 15g;$$

Ударне прискорення  $H_y = 10g = 100 \text{ м/с}^2$

.

Розрахунок:

1. Визначимо умовну частоту ударного імпульсу:

$$\omega = \pi/\tau_u = 392 \text{ (рад/с)}$$

2. Визначаємо коефіцієнт передачі при ударі для прямокутного імпульсу.

$$K_y = 2\sin(\pi/2 \cdot n)$$

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $n$  – коефіцієнт розстроювання:

$$n = \frac{\omega}{2\pi f_c} = \frac{392}{2 \cdot 3.14 \cdot 1034} = 0,06$$

$$K_y = 2 \sin\left(\frac{3.14}{2 \cdot 0.06}\right) = 1.7$$

3. Знаходимо ударне прискорення:

$$a_y = H_y \cdot K_y = 100 \cdot 1.7 = 170 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$$

4. Максимальне відносне переміщення:

$$S_{\max} = \frac{a_y}{2\pi f_c^2} = \frac{170}{2 \cdot 3.14 \cdot 1034^2} = 0.0253 \text{ (мм)}$$

5. Перевіряємо умови удароміцності друкованої плати:

$$S_{\max} < 0,001 \times b,$$

де  $b$  – розмір сторони друкованої плати, паралельно до якої встановлено ЕРЕ.

$$a_y < a_{y \text{ доп}}$$

Умови виконується:

$$a_y = 170 < 20g = 200$$

$$S_{\max} = 0,0253 < 0,001 \times 50 = 0,05 \text{ (мм)}$$

Таким чином, умови удароміцності виконуються

### 3.7. Тепловий розрахунок схеми

В цьому підпункті виконується тепловий розрахунок для мікросхеми UA78M05. При розрахунку визначається необхідність в примусовому охолодженні мікросхеми за допомогою радіатора.

Вихідними даними для розрахунку є:

- робочий діапазон температур оточуючого середовища згідно з ТЗ:

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

-100С ... + 400С;

- тепловий опір між кристалом і оточуючим середовищем,

Рк.ср.: 190С / Вт, без використання радіатору;

- максимальна вхідна напруга: 25 В;
- струм навантаження розрахований раніше: 0,2 А;
- максимальна робоча температура ІМС: 125°С.

Визначаємо максимально можливу температуру мікросхеми при роботі.

Зв'язок між температурою мікросхеми і навколишнім середовищем визначається співвідношенням:

$$T_{IMC} = T_{cp} + P \cdot R_{k,ср} , (3.29)$$

де:

Р – потужність, розсіювана на мікросхемі, Вт.

$T_{cp}$  – температура навколишнього середовища: приймаємо для найгіршого випадку  $T_{cp} = +40$  0С.

Потужність Р, визначається, виходячи з навантаження на мікросхему:

$$P = U \cdot I, \quad (3.30)$$

де: U – падіння напруги на мікросхемі, В: для нормальної роботи мікросхеми,

згідно з ТЗ приймаємо максимальну вхідну напругу  $U = 12$  В.

Тоді:

$$P = U \cdot I = 12 \cdot 0,2 = 2,4 \text{ (Вт)}.$$

Тоді температура мікросхеми згідно з формулою 3.29 :

$$T_{IMC} = T_{cp} + P \cdot R_{k,ср} = 40 + 2,4 \cdot 19 = 85,6 \text{ (°С)}.$$

### **3.8 Висновки:**

1) Виконано розміщення конструктивних елементів, що допомагає максимально щільно використати корисне місце на платі, а також правильно розмістити компоненти під час створення трасування друкованої плати.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 2) Проведено конструкторсько-технологічні розрахунки: визначено мінімальні відстані для друкованих провідників, ширину провідника та діаметр перехідних та монтажних отворів. Відповідно до цих розрахунків і розміщення компонентів та схеми електричної-принципової розробленої у попередньому розділі – створено плату друковану.
- 3) Проведено електричний розрахунок друкованої плати: розраховане значення Упад, розсіюваної потужності ДДП, ємності між двома сусідніми провідниками та індуктивності двох паралельних провідників є малими та не впливають на працездатність схеми отже трасування друкованої плати можна вважати правильним.
- 4) Проведено розрахунок надійності, друкований вузол виявився кращим ніж заявлено у вимогах ТЗ, щодо середнього часу напрацювання на відмову та середнього час ремонту.
- 5) Проведено розрахунок конструкції на дію удару, ударне прискорення і максимальне відносне переміщення менше допустимих для ЕРЕ. Друкована плата відповідає вимогам ТЗ на вплив удару. Отже, додаткових заходів захисту від ударних дій не потрібні.
- 6) Проведено теплової розрахунок схеми, який показує, що пристрій працює в допустимому тепловому режимі (максимальна температура у найгіршому випадку складе 85,6°C) аналогічним чином оцінено тепловий режим для усіх елементів схеми, використання радіатора в даній конструкції не є необхідним.

#### 4. Розробка та тестування пристрою

Ціль даного розділу – створити готовий робочий прототип пристрою для демонстрації його основних функцій та розробити програмне забезпечення для нього.

##### 4.1 Створення пристрою

Відповідно до схеми електричної-принципової приладу розробленої та

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		777

розрахованої у минулих розділах створимо прототип виробу. Він буде включати в себе основні блоки, для можливості перевірки функціоналу зробленого пристрою та створення програмного забезпечення.

Прототип базується на платформі Arduino Uno R3, та включає в себе наступні блоки:

- блок керування;
- перетворювач USB-UART;
- АЦП;
- блок живлення.

Arduino Uno представляє собою готову відкриту платформу, що поєднує у собі МК, перетворювач USB-UART та стабілізатор живлення, а це полегшує розробку, відлагодження та оновлення прототипу.

З'єднання блоків між собою зображено на рисунку 4.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

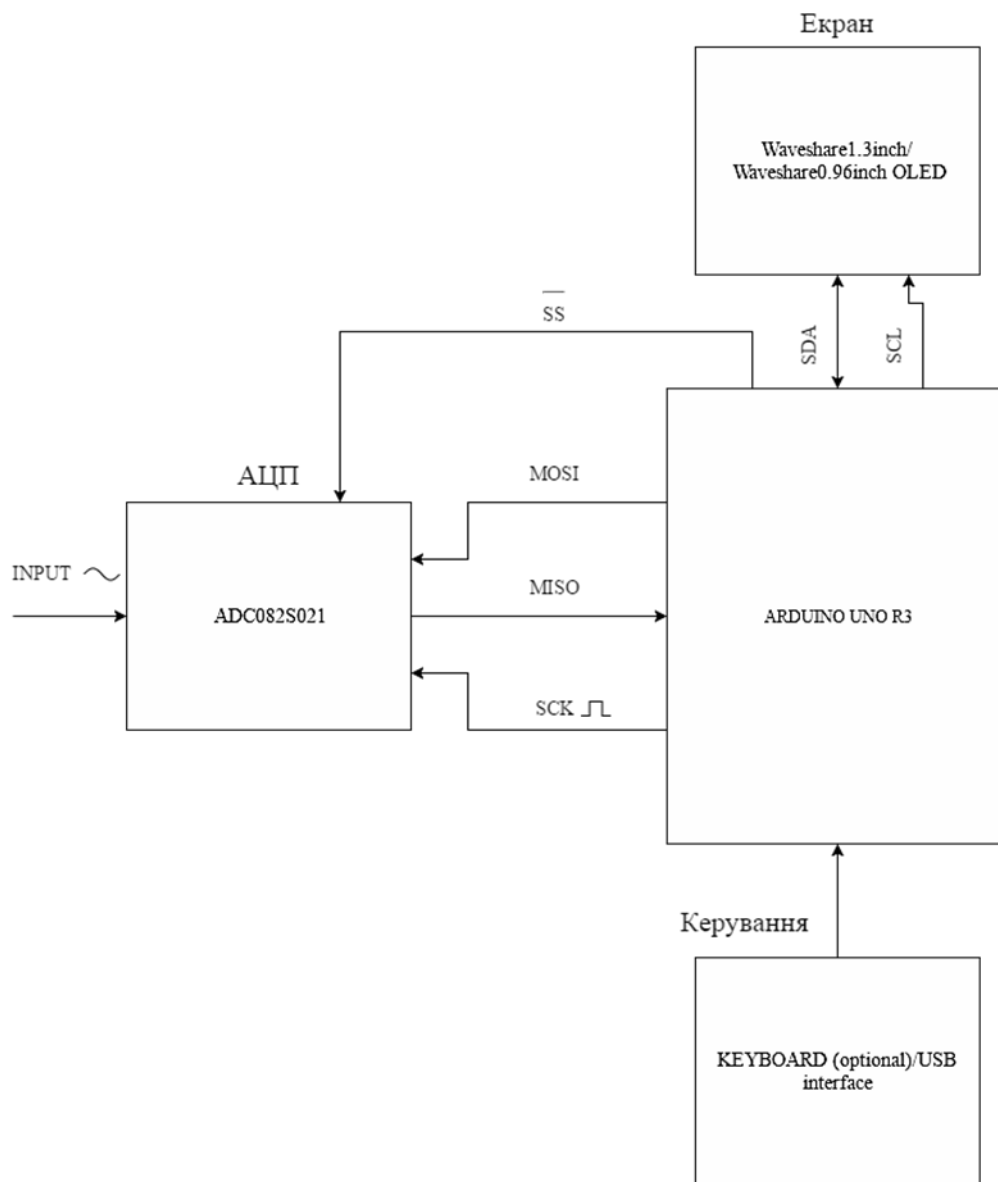


Рис. 4.1 З'єднання блоків між собою.

Блок Arduino Uno R3 та екран покупний. Для реалізації блоку АЦП було створено трасування друкованої плати за допомогою програми Sprint Layout, плату виготовлено технологією «ЛУТ», трасування та готова плата зображена на рисунку 4.2.

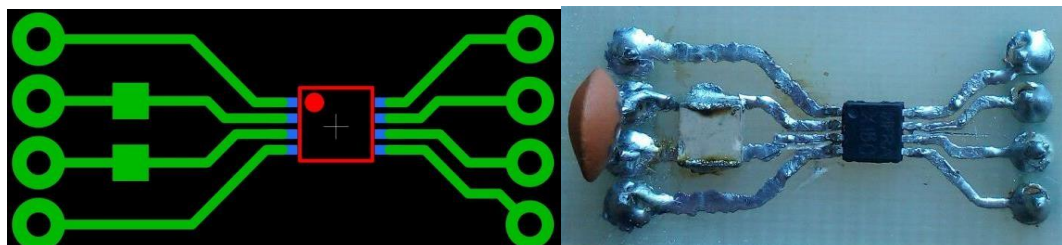


Рис. 4.2 Трасування модуля АЦП та готовий модуль.

Відповідно до рисунку 4.1 було реалізовано прототип пристрою, з'єднання модулів між собою показано на рисунку 4.3. Також на вхід прототипу підключений резистор та компенсуючий конденсатор.

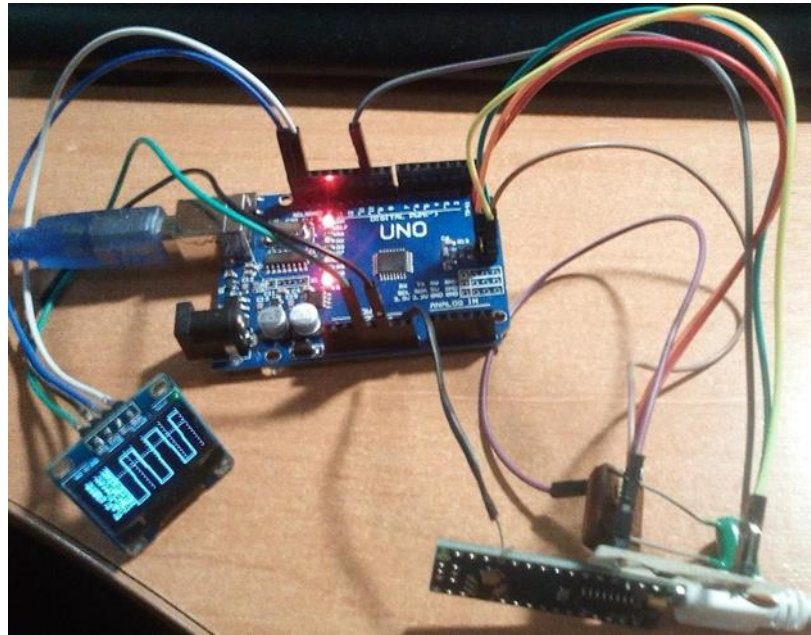


Рис. 4.3 З'єднання модулів між собою

#### 4.2 Розробка програмного забезпечення для прототипу

Програмне забезпечення прототипу розробляється у середовищі програмування Arduino IDE [19] на мові програмування, яка ґрунтується на C++. Програма має наглядно реалізовувати відповідний функціонал пристрою з умов ТЗ, а саме:

- можливість відображення сигналу;
- отримання та оброблення інформації зі входу АЦП;
- можливість керування пристроєм;
- прийнятний час індикації.

Відповідно до умов створений алгоритм програми, що описує основні функції програмного забезпечення та допомагає зрозуміти та розробити програму для пристрою.

Алгоритм програми та опис програми:

- 1) Підключення хедерів (бібліотек) для використання функцій мови.



Підключення бібліотек для використання інтерфейсу SPI (SPI.h) та графічної бібліотеки екрану (U8glib.h).

2) Ініціалізація змінних та констант.

3) Ініціалізація портів (на вхід/вихід).

4) Ініціалізація інтерфейсів SPI [21], I2C[20] та UART[22] інтерфейсів.

Ініціалізація графічної бібліотеки екрану, що працює через інтерфейс I2C.

Ініціалізація роботи SPI відповідно до даташиту на АЦП [5], встановлення швидкості тактування  $T_{clk} = 4MHz$ , настройка на зчитування спочатку старшого біта – MSBFIRST, встановлення режиму роботи – SPI\_MODE3.

Налаштування швидкості роботи UART на 9600 бод.

5) Головний цикл програми. Включає в себе зчитування та обробку даних з АЦП, виведення даних екран, перевірку отримання даних з ЮАРТу.

6) Зчитування даних з АЦП.

АЦП пов'язаний з МК за допомогою інтерфейсу SPI. Для отримання даних на АЦП відправляються два байти нулів, у відповідь відповідно АЦП відправляє два байта даних, що здвигаються та отримується один байт даних, даний спосіб передачі детальніше описаний у даташиті. Також відповідно до обраних користувачем функцій (стабілізація, авторозгортка та ін.) іде визначення відповідних даних для відображення на екрані.

7) Виведення даних на екран.

Для роботи з екраном використовується бібліотека "U8glib.h" [23], яка включає основні функції, що необхідні для відображення даних. Основні функції:

- `u8g.drawStr()` – вивести текст;
- `u8g.drawPixel()` – намалювати піксель;
- `u8g.drawLine()` – намалювати лінію.

Виведення на екран відбувається поступово – спочатку малюється статичний текст (назви, величини), а потім відображається динамічна розрахована складова (сигнал та дані частоти), (див. Тестування прототипу).

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 8) Оброблення даних з ЮАРТу.

Якщо з порту ЮАРТ надійшли певні данні, то відбувається перехід на функцію, що оброблює ці дані змінюючи відповідні величини, встановленні користувачем.

Відповідно до цього алгоритму було створено програмне забезпечення, код занесено у додаток Б.

### 4.3 Тестування пристрою

Для тестування було зібрано прототип осцилографу, на вхід подавався сигнал ШІМ рисунок 4.4, що генерується за допомогою плати Arduino NANO, на рисунку 4.5 відображена робота пристрою.

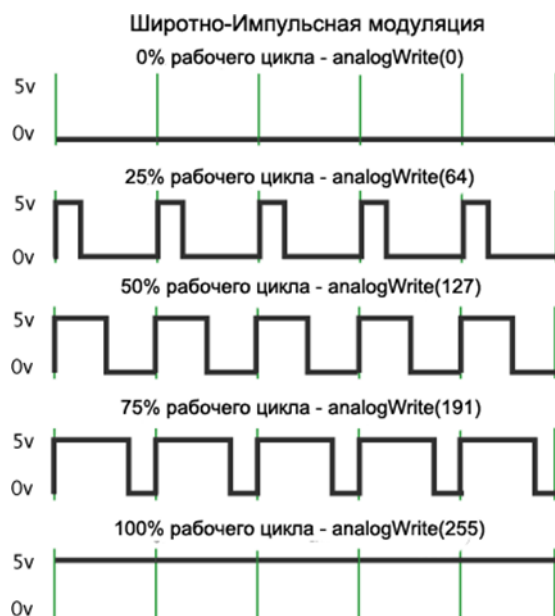


Рис. 4.4 Сигнал ШІМ

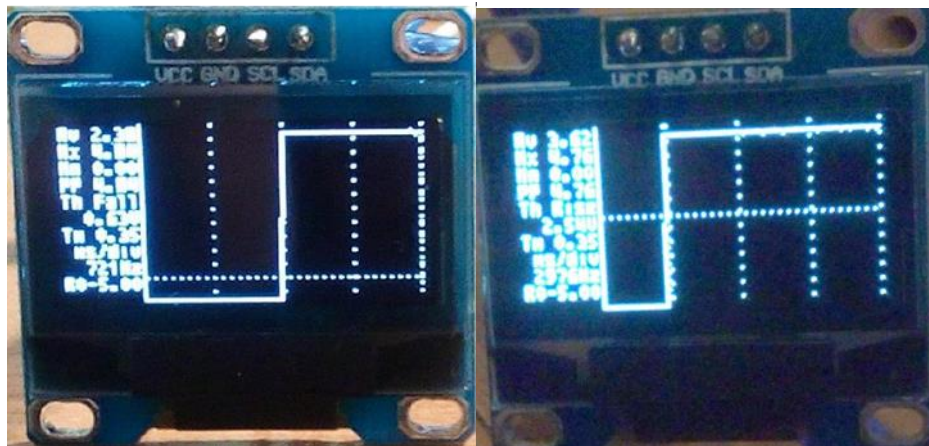


Рис. 4.5 Відображення сигналу ШІМ 50%, 75% робочого циклу

Як бачимо з рисунків 4.4 та 4.5, ШІМ сигнал з плати та на вході осцилографа співпадають – це свідчить про правильну роботу прототипу.

**Висновки:** результатом даного розділу є створення прототипу пристрою, програмного забезпечення для нього та його тестування за допомогою сигналу ШІМ. Прототип відображує основні функції пристрою та задовольняє умови ТЗ, щодо функціоналу.

## ВИСНОВКИ

У ході дипломного проектування було розроблено портативний цифровий тестер-осцилограф.

1. В інженерній практиці доволі часто при ремонті та налагоджуванні електронної техніки в реальних умовах експлуатації виникає потреба в визначенні форми та параметрів електричного сигналу в конкретній точці електронної схеми за стислих та некомфортних умов виконання роботи. В цьому плані запропонована розробка портативного цифрового тестера-осцилографа є вельми актуальною.

2. Прилад реалізовано з використанням Arduino UNO на основі МК ATmega328P, що дало можливість суттєво скоротити час та витрати на розробку лабораторного макету пристрою.

3. Представлений в бакалаврській роботі тестер-осцилограф має обмежені частотні та амплітудні характеристики на перевагу зменшення габаритів пристрою. На даному етапі це є основною задачею, а в подальших розробках варіантів сімейства пристрою частотні та амплітудні характеристики можна буде налаштувати на інші необхідні параметри.

4. Досягнуте зменшення габаритів портативного цифрового тестера-осцилографа дає можливість його виконання у вигляді електронного щупа інженера.

5. Створено схему електричну–принципову пристрою, а також трасування плати та складальне креслення.

6. Для створення друкованої плати обрано сучасну елементну базу, елементи обрано відповідно до їх функцій у схемі та вимог ТЗ, щодо їх характеристик. Обрані елементи мають корпус SMD, що дозволяє зменшити розміри плати та створити дійсно портативний пристрій. Елементи розміщено за допомогою послідовного алгоритму – це дозволило узгодити розміщення елементів між собою та зменшити загальну довжину провідників.

7. Проведені електричні розрахунки показали, що падіння напруги на

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

найдовшому провіднику, розсіювання потужності, паразитна ємність між двома сусідніми провідниками та індуктивності двох паралельних провідників є малими та не впливають на працездатність схеми.

8. Розрахунок надійності показав, що прилад виявився кращим ніж заявлено у вимогах ТЗ, щодо середнього часу напрацювання на відмову та середнього часу ремонту.

9. Результат розрахунку конструкції на дію удару задовольнив вимоги ТЗ на стійкість до удару у 20g. Проведений тепловий розрахунок показав, що при кліматичних умовах, заявлених у ТЗ, застосування радіатора у пристрої не є необхідним.

10. Пристрій повністю задовольняє технічним характеристикам та функціональним вимогам, що вказані у ТЗ.

11. На основі даної розробки було створено д та програмний код, що підтверджує працездатність та функціональні можливості розробленого пристрою.

12. 12. За результатами роботи зроблено доповідь на 13-у науково-практичну конференцію «Перспективні напрямки сучасної електроніки» та опубліковано статтю: Андрієнко О.В., Терлецький О.В. «Портативний цифровий тестер-осцилограф» в матеріалах конференції.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дьяконов В.П. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера»— М.: СОЛОН-Пресс, 2013. — 320 с.:ил.
2. Осциллограф [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84>.
3. Работа с осциллографом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.electroclub.info/article/oscillograf.htm>.
4. Как выбирать конденсаторы в обвязке кварца [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://bsvi.ru/kak-vybirat-kondensator-dlya-kvarca/>.
5. Документація на ATmega328P [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf).
6. Методы сопряжения быстродействующих ОУ с АЦП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2190/doc/40421/>.
7. Выбор правильного входного усилителя для АЦП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.compel.ru/lib/articles/vyibor-pravilnogo-vhodnogo-usilitelya-dlya-atsp-ads8319>.
8. Документація на ATtiny4313 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc8246.pdf>.
9. Документація на ATmega8535 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc2502.pdf>.
10. Документація на ATmega168P [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8025-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48P-88P-168P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8025-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48P-88P-168P_Datasheet.pdf).

					<i>БР.171.051.001 ПЗ</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Документація на AT89C51 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.atmel.com/images/doc0265.pdf>.
12. Документація на ADC081S101 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc081s101.pdf>.
13. Документація на ADG704 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG704.pdf>.
14. Документація на AD8033 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8033\\_8034.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8033_8034.pdf).
15. Документація на  $\mu$ A78Mxx [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua78m.pdf>.
16. Документація на екран 1.3inch OLED (B) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch\\_OLED\\_\(B\)](http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch_OLED_(B)).
17. Губар В. Г. Методичні вказівки щодо проведення практичних занять з курсу «Фізико-теоретичні основи конструювання ЕОА».
18. ClickTest. Как быстро мы жмем клавиши или кик за макросы. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://imasters.org.ru/viewtopic.php?id=97>.
19. Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>.
20. Интерфейсная шина ИС (I2C) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html>
21. Serial Peripheral Interface [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface)
22. Универсальный асинхронный приёмопередатчик [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный\\_асинхронный\\_приёмопередатчик/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный_асинхронный_приёмопередатчик/).
23. U8glib Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://github.com/olikraus/U8glib\\_Arduino/](https://github.com/olikraus/U8glib_Arduino/).
24. Определение метрологических характеристик и экспериментальное

исследование осциллографа приставки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.labfor.ru/articles/dip/5#5.1/>.

ГОСТ 2.701-2008. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

25. Осциллограф [Электронный ресурс] Режим доступа:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84>

26. Документація на ATmega328P [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)

[ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf) ГОСТ 2.743-91. Обозначения условных графических в схемах. Элементы цифровой техники.

27. Документація на ADC081S101 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc081s101.pdf>.

28. Документація на экран 1.3inch OLED (B) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch\\_OLED\\_\(B\)](http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch_OLED_(B)).

29. Документація на ADG704 [Электронный ресурс] –

Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG704.pdf>.

30. Документація на AD8033 [Электронный ресурс] –  
Режим доступа:

[http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8033\\_8034.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8033_8034.pdf).

31. Электронный ресурс — <https://toolboom.com/ru/articles-and-video/review-of-atten-ads1000cm-series-digital-storage-oscilloscope>

32. Электронный ресурс — <https://mysku.ru/blog/china-stores/57001.html>

33. Электронный ресурс

[https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550\\_arduino%20uno%20r3.pdf](https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550_arduino%20uno%20r3.pdf)

34. Электронный ресурс <http://robotosha.ru/arduino/analog-measurements-arduino.html>.

35. «Перспективні напрямки сучасної електроніки» Андрієнко О.В., Тер-



лецький О.В. «Портативний цифровий тестер-осцилограф».

ГОСТ 2.417-91. ЕСКД. Платы печатные. Основные размеры.

ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия

ГОСТ 23571-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции

ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення.

## ДОДАТОК А

### Технічне завдання на дипломне проектування

#### 1. Основа для виконання роботи.

Основою для виконання дипломного проекту є завдання, видане згідно навчального плану на 8 семестр.

#### 2. Найменування та область застосування.

Портативний цифровий осцилограф. Даний пристрій використовується для вимірювання та запису параметрів електричного сигналу. Практичне застосування: для перевірки та ремонту апаратури в лабораторіях, на заводах та в аматорських розробках.

#### 3. Мета і призначення розробки.

Метою даної роботи є розробка робочого зразка пристрою «Портативного осцилографу». Осцилограф дозволяє дослідити сигнал у вибраному вузлі у даний момент часу (або записаний раніше), відобразити його на дисплеї.

#### 4. Джерело розробки.

Завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ» №1405-с. від 27.05.2019р.

#### 5. Основні етапи розробки

Розробка прототипу приладу складається з наступних етапів:

- аналіз технічного завдання на виріб;
- створення схеми електричної принципової;
- створення креслення друкованої плати;
- створення складального креслення приладу;
- розробка програмного забезпечення;
- створення прототипу приладу;
- розробка пояснювальної записки.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

## 6. Склад пристрою

Пристрій повинен бути моноблочної або багато блочної конструкції, складатися з друкованої плати та розміщуватися у корпусі. Пристрій має створюватись на сучасній елементній базі: мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, екран, кнопки вводу, стабілізатор напруги живлення, роз'єми для підключення вхідного кабелю. Пристрій, повинен розміщуватися в корпусі відповідно технічним вимогам завдання.

## 7. Технічні вимоги.

### 7.1 Функціональні можливості пристрою

Пристрій має забезпечувати:

- функцію відображення сигналу у заданому діапазоні;
- точність відображення у заданому діапазоні;
- прийнятний час індикації;
- відображення результатів на екрані;
- можливість керування.

### 7.2 Вимоги до надійності

- середній час напрацювання на відмову має бути не менше 20000 годин;
- стійкість до удару в 20g;
- середній час ремонту не більше 2,5 годин.

### 7.3 Технічні характеристики

Діапазон вимірювання напруги	0 ... +50В
Напруга живлення від зовнішнього блока	7...20В
Похибка вимірювання	± 5%
Максимальна частота вимірювання	200 кГц
Вхідний опір	не менше ніж 100 кОм
Розрядність	8 біт
Частота дискретизації	1 МГц

### 7.4 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних і уніфікованих деталей і виробів.

*7.5 Вимога до безпеки експлуатації та обслуговування.*

Керуватися загальними вимогами до апаратури низької напруги по ГОСТ 12.2.007 – 75.

Виробник гарантує ремонт пристрою у випадку виходу його з ладу з вини виробника.

*7.6 Вимоги до складових частин пристрою, сировини, вихідним матеріалам.*

Для виготовлення даного пристрою використовуються матеріали вітчизняного та зарубіжного виробництва.

*7.7 Вимоги до умов експлуатації*

Кліматичне виконання УХЛ 3.1 за ГОСТ 15150 – 69.

Для експлуатації в нерегулярно опалювальних приміщеннях.

- температура повітря для експлуатації  $-10...+40^{\circ}\text{C}$ ;
- середнє допустиме значення відносної вологості 75 % при  $15^{\circ}\text{C}$ .

*7.8 Вимоги до транспортування і зберігання*

Група умов зберігання Л1 за ГОСТ 15150-69. Зберігати в закритих, опалюваних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечено наступні умови:

- температура повітря  $+5...+40^{\circ}\text{C}$ ;
- середнє допустиме значення відносної вологості за УХЛ4.

Транспортувати автомобільним, залізничним, або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

**8. Економічні показники.**

Економічні показники не розглядаються.

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

## 9. Етапи розробки.

№ п/п	Найменування етапу розробки	Терміни виконання	Результат
1	Розробка технічного завдання	16.11.18	Технічне завдання
2	Розробка структурної схеми	30.11.18	Схема структурна приладу
3	Розробка ескізної схеми електричної принципової приладу	16.12.18	Принципова схема приладу
4	Виконання креслення схеми електричної принципової	16.01.19	Креслення схеми електричної принципової
5	Виконання складального креслення	16.02.19	Складальне креслення друкованої плати
6	Виконання креслення друкованої плати	16.03.19	Креслення друкованої плати
7	Розробка програмного забезпечення	30.03.19	Програмне забезпечення
8	Виготовлення прототипу	16.04.19	Діючий прототип
9	Випробування експериментального зразка	30.04.19	Протокол випробування
10	Розробка пояснювальної записки	16.05.19	Пояснювальна записка

## 10. Проект має містити таку документацію:

- Пояснювальну записку;

- Схему електричну принципову і перелік елементів;
- Складальне креслення і специфікація;
- Креслення друкованої плати;
- Додатки.

## ДОДАТОК Б

Код программного обеспечения прототипу

```
#include "U8glib.h" #include <SPI.h>
// internal ADC
const int slaveSelectPin = 10;
byte useThreshold = 1; // 0 = Off, 1 = Rising,
2 = Falling byte theThreshold = 128; // 0-255, Multiplied
by voltageConst unsigned int timePeriod = 200; // 0-65535, us or ms
per measurement (max 0.065s or 65.535s)
byte voltageRange = 1; // 1 = 0-5V, 2 = 0-2.5V, 3 = 0-1.25V
boolean autoHScale = true; // Automatic
horizontal (time) scaling boolean linesNotDots = true; // Draw lines
between data points
const byte high_speedADC_time_us = 10; //Время работы АЦП 13
мкс + 3 мкс на счет.

// Variables that can probably be left alone
const byte vTextShift = 1; // Vertical text shift (to vertically align info)
// Leave at 100 for 128x64 pixel display (Количество выборок)
const byte numOfSamples = 100;
//unsigned int HQadcReadings[numOfSamples]; // Чтение данных с АЦП
(поскольку 10 бит) byte adcReadings[numOfSamples]; // Чтение данных с
АЦП (8 бит)
byte thresLocation = 0; // Threshold bar location
float voltageConst = 0.079365151; // Scaling factor for
converting 0-63 to V
// Инициализация переменных
```

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

```

float avgV = 0.0; // Для среднего
напряжения float maxV = 0.0; // Максимальное
напряжение
float minV = 0.0; // Минимальное
напряжение float ptopV = 0.0; // Разница думаю
можно убрать
float theFreq = 0; // Частота (можно добавить период)
const byte theAnalogPin = A0; // Data read pin
// HW SPI/I2C:
//U8GLIB_SSD1306_128X32 u8g(U8G_I2C_OPT_NONE); // I2C /
TWI
//U8GLIB_SSD1306_128X64
u8g(U8G_I2C_OPT_NONE|U8G_I2C_OPT_DEV_0); // I2C / TWI
U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_FAST); // Fast I2C /
TWI
//U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NO_ACK);
// Display which does not send AC
// defines for setting and clearing register bits #ifndef cbi
#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit)) #endif
#ifndef sbi
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit)) #endif

int adc()
{
byte data = 0;
//float data_f = 0; digitalWrite(slaveSelectPin, LOW);
data = (SPI.transfer(0)<<4)|(SPI.transfer(0)>>4);
digitalWrite(slaveSelectPin, HIGH);
return data;
void collectData(void) //collect data from adc (main part)!!!

```



```

{
byte tempThres = 0; // TEMP byte i = 0;

if (autoHScale == true)// Автоподстройка времени
{
// With automatic horizontal (time) scaling enabled,
// scale quickly if the threshold location is far, then slow down if
(thresLocation > 5*numOfSamples/8) {
timePeriod = timePeriod + 5;
} else if (thresLocation < 3*numOfSamples/8) { timePeriod =
timePeriod - 5;
} else if (thresLocation > numOfSamples/2) { timePeriod = timePeriod
+ 1;
} else if (thresLocation < numOfSamples/2) { timePeriod = timePeriod
- 1;
}
}

// Enforce minimum time periods
if (timePeriod < high_speedADC_time_us) { timePeriod =
high_speedADC_time_us;
}

// Adjust voltage constant to fit the voltage range if (voltageRange ==
1) {
//voltageConst = 1;
voltageConst = 0.079365151; // 0-5V was//0.0523810; // 0-3.30V //
} else if (voltageRange == 2) {
voltageConst = 0.0261905; // 0-2.5V was//0.0261905; // 0-1.65V //
} else if (voltageRange == 3) {
voltageConst = 0.01309526; // 0-1,25V was//0.0130952; //0-0.825V //
}
}

```

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// If using threshold, wait until it has been reached if (voltageRange ==
1) tempThres = theThreshold;
else if (voltageRange == 2) tempThres = theThreshold << 1; else if
(voltageRange == 3) tempThres = theThreshold << 2; if (useThreshold
== 1) { // ???
i = 0; while ((adc()>tempThres) && (i<256)) i++; i = 0; while
((adc()>tempThres) && (i<256)) i++;
}
else if (useThreshold == 2) {
i = 0; while ((adc()>tempThres) && (i<256)) i++; i = 0; while
((adc()>tempThres) && (i<256)) i++;
}
// Collect ADC readings
for (i=0; i<numOfSamples; i++) { adcReadings[i] = adc();
//adcReadings[i] = analogRead(theAnalogPin)/4;
if (timePeriod > high_speedADC_time_us) //was -35
{
delayMicroseconds(timePeriod - high_speedADC_time_us); //was -35
}
}
for (i=0; i<numOfSamples; i++) {
// Scale the readings to 0-63 and clip to 63 if they are out of range. if
(voltageRange == 1) {
//adcReadings[i]<<4 & 0b11111111;
if (adcReadings[i]>>2 < 0b111111) adcReadings[i] =
adcReadings[i]>>2 & 0b111111; else adcReadings[i] = 0b111111;
} else if (voltageRange == 2) {
if (adcReadings[i]>>3 < 0b11111) adcReadings[i] = adcReadings[i]>>3
& 0b111111; else adcReadings[i] = 0b111111;
} else if (voltageRange == 3) {

```

```

if (adcReadings[i]>>4 < 0b1111) adcReadings[i] = adcReadings[i]>>4
& 0b111111; else adcReadings[i] = 0b111111;
}
// Invert for display
adcReadings[i] = 63-adcReadings[i];
}
// Calculate and display frequency of signal using zero crossing if
(useThreshold != 0) {
if (useThreshold == 1) { thresLocation = 1;
while ((adcReadings[thresLocation]<(63-(theThreshold>>2))) &&
(thresLocation<numOfSamples- 1)) (thresLocation++);
thresLocation++;
while ((adcReadings[thresLocation]>(63-(theThreshold>>2))) &&
(thresLocation<numOfSamples- 1)) (thresLocation++);
}
else if (useThreshold == 2) { thresLocation = 1;
while ((adcReadings[thresLocation]>(63-(theThreshold>>2))) &&
(thresLocation<numOfSamples- 1)) (thresLocation++);
thresLocation++;
while ((adcReadings[thresLocation]<(63-(theThreshold>>2))) &&
(thresLocation<numOfSamples- 1)) (thresLocation++);
}
theFreq = (float) (1000000/(thresLocation * timePeriod)); //по идеи
МОЖНО ОСТАВИТЬ (thresLocation * timePeriod), thresLocation -
начало(порог)
}
// Average Voltage avgV = 0;
for (i=0; i<numOfSamples; i++) avgV = avgV + adcReadings[i];
avgV = (63-(avgV / numOfSamples)) * voltageConst;

```

```

// Maximum Voltage maxV = 63;
for (i=0; i<numOfSamples; i++)
if (adcReadings[i]<maxV) maxV = adcReadings[i]; maxV = (63-
maxV) * voltageConst;

// Minimum Voltage minV = 0;
for (i=0; i<numOfSamples; i++)
if (adcReadings[i]>minV) minV = adcReadings[i]; minV = (63-minV)
* voltageConst;

// Peak-to-Peak Voltage ptopV = maxV - minV;
}

void handleSerial(void) { char inByte;
char dataByte;
boolean exitLoop = false;

do {
// Clear out buffer do {
inByte = Serial.read();
} while (Serial.available() > 0);

Serial.print("\nArduino LCD Oscilloscope\n"); Serial.print(" 1 -
Change threshold usage (currently: "); if (useThreshold == 0)
Serial.print("Off)\n");
else if (useThreshold == 1) Serial.print("Rise)\n"); else if (useThreshold
== 2) Serial.print("Fall)\n");
Serial.print(" 2 - Change threshold value (x/255 of range) (currently: ");
Serial.print(theThreshold, DEC); Serial.print(")\n");
Serial.print(" 3 - Change sampling period (currently: ");

```

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

```

Serial.print(timePeriod, DEC); Serial.print("\n"); Serial.print(" 4 -
Change voltage range (currently: ");
if (voltageRange == 1) Serial.print("0-5V\n");
else if (voltageRange == 2) Serial.print("0-2.5V\n"); else if
(voltageRange == 3) Serial.print("0-1.25V\n");
Serial.print(" 5 - Toggle auto horizontal (time) scaling (currently: "); if
(autoHScale == true) Serial.print("On\n");
else if (autoHScale == false) Serial.print("Off\n"); Serial.print(" 6 -
Toggle line/dot display (currently: "); if (linesNotDots == true)
Serial.print("Lines\n");
else if (linesNotDots == false) Serial.print("Dots\n"); Serial.print(" 8 -
Exit\n");

// Wait for input/response, refresh display while in menu do {
collectData();

// Picture Display Loop u8g.firstPage();
do { draw(); } while( u8g.nextPage() );
} while (Serial.available() == 0); inByte = Serial.read();

if (inByte == '1') {
Serial.print("Change threshold usage\n"); Serial.print(" 0 - Off\n");
Serial.print(" 1 - Rise\n"); Serial.print(" 2 - Fall\n");
do { } while (Serial.available() == 0); dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '0') useThreshold = 0;
else if (dataByte == '1') useThreshold = 1; else if (dataByte == '2')
useThreshold = 2;
} else if (inByte == '2') {
Serial.print("Change threshold value (thresholds for 0-5V,0-2.5V,0-
1.25V ranges)\n"); Serial.print(" 0 - 32 (0.63V, 0.31V, 0.16V)\n");

```

```

Serial.print(" 1 - 80 (1.57V, 0.78V, 0.39V)\n");
Serial.print(" 2 - 128 (2.51V, 1.25V, 0.63V)\n");
Serial.print(" 3 - 176 (3.45V, 1.73V, 0.86V)\n");
Serial.print(" 4 - 224 (4.39V, 2.20V, 1.10V)\n");
do { } while (Serial.available() == 0); dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '0') theThreshold = 32; else if (dataByte == '1')
theThreshold = 80;
else if (dataByte == '2') theThreshold = 128; else if (dataByte == '3')
theThreshold = 176; else if (dataByte == '4') theThreshold = 224;
}
else if (inByte == '3') {
Serial.print("Change sampling frequency\n"); Serial.print("1 + 1\n");
Serial.print("2 - 1\n"); Serial.print("3 + 10\n"); Serial.print("4 - 10\n");
Serial.print("5 MAX speed\n");
do { } while (Serial.available() == 0); dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '0') timePeriod = high_speedADC_time_us; else if
(dataByte == '1') timePeriod = timePeriod+1;
else if (dataByte == '2') timePeriod = timePeriod-1; else if (dataByte ==
'3') timePeriod = timePeriod+10; else if (dataByte == '4') timePeriod =
timePeriod-10;
else if (dataByte == '5') timePeriod = high_speedADC_time_us;
} else if (inByte == '4') { Serial.print("Change voltage range\n");
Serial.print(" 1 - 0-5.00V\n");
Serial.print(" 2 - 0-2.50V\n");
Serial.print(" 3 - 0-1.25V\n");
do { } while (Serial.available() == 0); dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '1') voltageRange = 1;
else if (dataByte == '2') voltageRange = 2; else if (dataByte == '3')
voltageRange = 3;
} else if (inByte == '5') {

```

```

Serial.print("Toggle auto horizontal (time) scaling\n"); Serial.print(" 0 -
Off\n");
Serial.print(" 1 - On\n");
do { } while (Serial.available() == 0);
dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '0') autoHScale = false; else if (dataByte == '1')
autoHScale = true;
} else if (inByte == '6') { Serial.print("Toggle line/dot display\n");
Serial.print(" 0 - Lines\n");
Serial.print(" 1 - Dots\n");
do { } while (Serial.available() == 0); dataByte = Serial.read();
if (dataByte == '0') linesNotDots = true;
else if (dataByte == '1') linesNotDots = false;
} else if (inByte == '8') { Serial.print("Bye!\n"); exitLoop = true;
}
} while (exitLoop == false);
}
void draw(void) { int i;
char buffer[16];
u8g.setFont(u8g_font_micro);
// Draw static text
u8g.drawStr(0, 5+vTextShift, "Av"); u8g.drawStr(0, 11+vTextShift,
"Mx"); u8g.drawStr(0, 17+vTextShift, "Mn"); u8g.drawStr(0,
23+vTextShift, "PP"); u8g.drawStr(0, 29+vTextShift, "Th");
u8g.drawStr(24, 35+vTextShift, "V"); u8g.drawStr(0, 41+vTextShift,
"Tm"); u8g.drawStr(4, 47+vTextShift, "ms/div"); u8g.drawStr(20,
53+vTextShift, "Hz"); u8g.drawStr(0, 59+vTextShift, "R");
// Draw dynamic text
if (autoHScale == true) u8g.drawStr(122, 5, "A"); // Отрисовать A
(автонастройка) dtostrf(avgV, 3, 2, buffer);

```

```

u8g.drawStr(12, 5+vTextShift, buffer); dtostrf(maxV, 3, 2, buffer);
u8g.drawStr(12, 11+vTextShift, buffer); dtostrf(minV, 3, 2, buffer);
u8g.drawStr(12, 17+vTextShift, buffer); dtostrf(ptopV, 3, 2, buffer);
u8g.drawStr(12, 23+vTextShift, buffer); dtostrf(theFreq, 5, 0, buffer);
u8g.drawStr(0, 53+vTextShift, buffer); if (useThreshold == 0) {
u8g.drawStr(12, 29+vTextShift, "Off");
} else if (useThreshold == 1) { u8g.drawStr(12, 29+vTextShift, "Rise");
dtostrf((float) (theThreshold>>2) * voltageConst, 3, 2, buffer);
} else if (useThreshold == 2) { u8g.drawStr(12, 29+vTextShift, "Fall");
dtostrf((float) (theThreshold>>2) * voltageConst, 3, 2, buffer);
}
u8g.drawStr(8, 35+vTextShift, buffer);
// Correctly format the text so that there are always 4 characters if
(timePeriod < 400) { //
dtostrf((float) timePeriod/1000 * 25, 3, 2, buffer);
} else if (timePeriod < 4000) {
dtostrf((float) timePeriod/1000 * 25, 3, 1, buffer);
} else if (timePeriod < 40000) {
dtostrf((float) timePeriod/1000 * 25, 3, 0, buffer);
} else { // Out of range dtostrf((float) 0.00, 3, 2, buffer);
}
u8g.drawStr(12, 41+vTextShift, buffer); if (voltageRange == 1) {
u8g.drawStr(4, 59+vTextShift, "0-5.00");
} else if (voltageRange == 2) { u8g.drawStr(4, 59+vTextShift, "0-
2.50");
} else if (voltageRange == 3) { u8g.drawStr(4, 59+vTextShift, "0-
1.25");
}
// Display graph lines
u8g.drawLine((128-numOfSamples),0,(128-numOfSamples),63); if

```



```

(useThreshold != 0)
for (i=29; i<127; i+=3) u8g.drawPixel(i,63-(theThreshold>>2));
for (i=0; i<63; i+=5) { u8g.drawPixel(53,i); u8g.drawPixel(78,i);
u8g.drawPixel(103,i); u8g.drawPixel(127,i);
}
// Threshold bar
for (i=0; i<63; i+=3)
u8g.drawPixel(thresLocation+(128-numOfSamples),i);
// Draw ADC readings
if (linesNotDots == true) {
for (i=1; i<numOfSamples; i++) // Draw using lines
u8g.drawLine(i+(128-numOfSamples)-1,adcReadings[i-1],i+(128-
numOfSamples),adcReadings[i]);
} else {
for (i=2; i<numOfSamples; i++) // Draw using points
u8g.drawPixel(i+(128-numOfSamples),adcReadings[i]);
}
}

```

```

void setup() { u8g.begin();//Start of u8g (SPI)
Serial.begin(9600); //Start of UART delay(1);
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV4);
SPI.setBitOrder(MSBFIRST); SPI.setDataMode(SPI_MODE3);
SPI.begin();
pinMode(slaveSelectPin, OUTPUT); digitalWrite(slaveSelectPin,
HIGH); delay(1);
}

```

```

void loop() {

```

					БР.171.051.001 ПЗ	Арк.
						1050
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
collectData(); //DATA from ADC
// Picture Display Loop u8g.firstPage(); //
do { draw(); } while( u8g.nextPage() );//
// If user sends any serial data, show menu if (Serial.available() > 0)
handleSerial();
//turn off autoset 8s after start if (millis()>8000) autoHScale = false;
}
```

Поз. позна ч.		Найменування			Кіл.	Примітка							
		<u>Конденсатори</u>											
C1		Murata-TZB4P400BA10R01-8,5-40nΦ			1								
C2		Murata-SMD0603-X7R-2200nΦ-50B±10%			1								
C3,C4		Murata-SMD0603-X7R-4700nΦ-50B±10%			2								
C5		Murata-SMD0603-X7R-1000nΦ-50B±10%			1								
C6		Murata-SMD0603-X7R-1мкΦ-50B±10%			1								
C7		Murata-SMD0603-X7R-0,1мкΦ-50B±10%			1								
C8		Murata-SMD0603-X7R-300nΦ-50B±10%			1								
C9...C16		Murata-SMD0603-X7R-0,1мкΦ-50B±10%			8								
C17		Murata-SMD0603-X7R-4,7мкΦ-50B±10%			1								
C18		Murata-SMD0603-X7R-0,1мкΦ-50B±10%			1								
		<u>Мікросхеми</u>											
DA1, DA2		AD8033-Analog Devices			2	Операційний підсилю-							
DD1		ADG704-Analog Devices			1	Мультиплексор							
DD2		ATmega328-Atmel			1	Мікроконтролер							
DD3		ADC081S101-TI			1	АЦП							
DD4		UA78m05-TI			1	Регулятор напруги							
DD5		FT232RL-FTDIChip			1	Перетворювач USB-UART							
HL 1...HL 4		Світлодіод KLS9-T0805UGC			4								
		<u>Резистори</u>											
R1		ROYALOHM-SMD0805-511кОм-0,125Вт±1%			1								
R2		ROYALOHM-SMD0805-487кОм-0,125Вт±1%			1								
R3		ROYALOHM-SMD0805-100кОм-0,125Вт±1%			1								
R4		ROYALOHM-SMD0805-11кОм-0,125Вт±1%			1								
R5		ROYALOHM-SMD0805-4990м-0,125Вт±1%			1								
					БР.6.050802.001 ПЕ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний цифровий осци- лограф Перелік елементів			Лім.		Арк.		Аркушів	
Розроб.	Андрієнко О.В.									107		2	
Перевір.	Терлецький О.В.							НТУУ «КІП ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП гр. ДЕ51					
Реценз.													
Н. Контр.	Чадюк В.О.												
Затверд.	Писаренко Л.Д.												

[illegible]